



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍCH STAVEB**

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**PROTIPOVODŇOVÁ OCHRANA OBCE BRANTICE**

FLOOD PROTECTION OF THE MUNICIPALITY BRANTICE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Lenka Zahradníková

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. HANA UHMANNOVÁ, CSc.

**BRNO 2019**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodních staveb

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Lenka Zahradníková
<b>Název</b>	Protipovodňová ochrana obce Brantice
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Hana Uhmánková, CSc.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2018
<b>Datum odevzdání</b>	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

---

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

- geodetické zaměření,
- hydrologická data.

Literatura:

- Raplík, M., Výbora, P., Mareš, K. (1989). Úprava tokov. Alfa. Bratislava.  
Gabriel, P., Grandtner, T., Průcha, M., Výbora, P. (1989). Jezy. SNTL. Praha.  
Výbora, P. (1985). Jezy. SNTL. Praha.  
Čihák, F., Medřický, V. (2001). Hydrotechnické stavby 20. Navrhování jezů. ČVUT. Praha.  
Kolář, V., Patočka, C., Bém, J. (1983). Hydraulika. SNTL/ALFA. Praha.  
Raplík M., Výbora P., Mareš K. (1989). Úprava tokov, Alfa, Bratislava.  
Mareš K. (1997). Úpravy toků, ČVUT, Praha.  
Kolář, V., Patočka, C., Bém, J. (1983). Hydraulika. SNTL/ALFA. Praha.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci připravovaných opatření na horní Opavě je v katastrálním území obce Brantice plánováno zvýšení ochrany obce před povodněmi. V rámci návrhu PPO obce je vhodné provést úpravu koryta řeky Opavy a rekonstrukci stávajícího pevného jezu.

V rámci diplomové práce proveďte:

- posouzení kapacity koryta toku v intravilánu obce,
- posouzení současného stupně ochrany okolního území před povodněmi,
- ideový návrh opatření na zvýšení ochrany přilehlého území,
- návrh rekonstrukce pevného jezu.

Při řešení návrhu protipovodňové ochrany obce uvažujte s variantou, která předpokládá zrušení stávající MVE.

Textovou část – Úvod, popis řešené lokality, hydrotechnické výpočty, návrh protipovodňových opatření, zhodnocení návrhu, závěr.

Přílohy – výkresová dokumentace v rozsahu studie

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Hana Uhmánová, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá návrhem protipovodňové ochrany obce Brantice, jehož součástí je úprava koryta řeky Opavy na říčním kilometru 77,6554 až 78,7024 a dále návrh rekonstrukce pevného jezu na říčním kilometru 78,340. V rámci práce bylo řešeno posouzení kapacity původního koryta v intravilánu obce a přilehlém okolí, návrh opatření pro zvýšení kapacity toku a návrh balvanitého skluzu s vodáckou propustí, který nahradil původní pevný jez. Pro výpočet kapacity toku bylo využito programu HEC-RAS 4.1.0.

## **ABSTRACT**

The thesis is concerned with the design of a flood protection for the Brantice municipality, a part of which is an adjustment of the Opava river stream bed, specifically kilometer 77,6554 to 78,7020 and, moreover, a design of a reconstruction of the weir at kilometer 78,340. A capacity assessment of the original stream bed in the built-up area and its surroundings is a part of the thesis, as well as a measure to increase the stream capacity and a design of a boulder chute with a water gate, which replaced the original weir. The program HEC-RAS 4.1.0. was used for the stream capacity calculations.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Kapacita koryta, posouzení stavu, balvanitý skluz, jez, rekonstrukce, HEC-RAS, návrhový průtok, rybí přechod, protipovodňová ochrana

## **KEYWORDS**

Capacity of the channel, condition assessment, boulder chute, weir, renovation, HEC-RAS, design flow, fishway, flood protection

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Lenka Zahradníková *Protipovodňová ochrana obce Brantice*. Brno, 2019. 49 s., 121 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Hana Uhmánová, CSc.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Protipovodňová ochrana obce Brantice* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2019

---

Bc. Lenka Zahradníková  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Protipovodňová ochrana obce Brantice* zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2019

---

Bc. Lenka Zahradníková  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěla bych poděkovat vedoucí diplomové práce Ing. Haně Uhmannové, Csc. za odborné vedení práce, cenné rady a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování práce věnovala. Dále děkuji rodičům za poskytnutou podporu v průběhu celého studia.



# OBSAH

<b>1.</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>CÍLE PRÁCE.....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>VSTUPNÍ PODKLADY .....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>BALVANITÉ SKLUZY .....</b>	<b>4</b>
4.1	Vznik balvanitých skluzů .....	4
4.2	Popis řešení.....	4
4.3	Použití balvanitých skluzů.....	5
4.4	Výpočet kapacity přepadu balvanitého skluzu .....	6
4.5	Rychlost na skluzové ploše.....	7
4.6	Stavební řešení balvanitých skluzů.....	7
4.6.1	Zabezpečení koruny skluzu .....	7
4.6.2	Úprava v patě svahu .....	8
4.6.3	Prostorové úpravy.....	8
4.6.4	Boční závázání skluzu .....	8
<b>5.</b>	<b>POPIS ÚZEMÍ.....</b>	<b>9</b>
5.1	Správní údaje .....	9
5.2	Údaje o povodí.....	10
5.3	Geomorfologické poměry .....	11
5.4	Klimatické poměry .....	12
5.5	Hydrologické poměry .....	13
5.5.1	Hydrologická data .....	14
5.6	Hydrogeologické poměry .....	15
5.7	Údaje o průmyslu.....	16
5.8	Životní prostředí .....	16
5.9	Rybochov .....	16
<b>6.</b>	<b>POPIS ŘEŠENÉHO ÚSEKU.....</b>	<b>18</b>
6.1	Opatření na horní Opavě (OHO) .....	18
6.2	Řešená lokalita.....	21
6.3	Popis řešení.....	25
<b>7.</b>	<b>HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY .....</b>	<b>28</b>
7.1	Proudění vody v otevřených korytech .....	28
	Ustálené proudění .....	28
	Neustálené proudění.....	28
7.1.1	Metoda po úsecích.....	29
7.2	Výpočet v programu HEC – RAS – Vstupní data .....	31
7.2.1	Geometrická data.....	31
7.2.2	Okrajové podmínky .....	31
7.3	Kapacita stávajícího koryta.....	32
7.4	Nově navržené koryto.....	32
7.5	Návrh balvanitého skluzu .....	33
7.5.1	Výpočtové schéma.....	33
7.5.2	Výpočtové parametry .....	34
7.5.3	Výpočet kapacity lichoběžníkového přepadu.....	34
7.5.4	Návrhové parametry .....	35
7.6	Nový stav – průběh hladiny .....	38

7.7	Balvanitý skluz – popis navržené konstrukce.....	38
7.7.1	Koruna přelivu.....	39
7.7.2	Skluzová konstrukce.....	39
7.7.3	Dno a podloží skluzu .....	39
7.7.4	Snížení přepadové hrany .....	40
7.8	Vodácká propust .....	40
<b>8.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>41</b>
<b>9.</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>43</b>
<b>10.</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>45</b>
10.1	Symbole.....	45
10.2	Zkratky.....	46
<b>11.</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>47</b>
<b>12.</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>48</b>
<b>13.</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>49</b>
13.1	Výkresy.....	49
13.2	Výpočty.....	49

# 1. ÚVOD

V roce 1997 bylo povodí Opavy zasaženo katastrofálními povodněmi. Téměř ihned po události bylo zpracováno několik návrhů pro zmírnění dopadu povodní. Vznikl soubor vodohospodářských projektů pod názvem *Opatření na horní Opavě* (OHO). V souboru OHO byla navržena protipovodňová ochrana po celé délce, několik suchých nádrží a vybudování vodní nádrže Nové Heřminovy, která tvoří hlavní prvek celého systému. V rámci OHO byl také vypracován návrh protipovodňové ochrany v obci Brantice na řece Opavě. Tento návrh byl zpracován společností Pöyry Environment a.s., nyní AQUATIS a.s. v roce 2010.

## 2. CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je zpracování návrhu protipovodňové ochrany obce Brantice a návrh rekonstrukce stávajícího jezu. Součástí předložené práce bylo posouzení kapacity původního koryta vybrané lokality, návrh nového koryta za účelem zvýšení kapacity koryta a návrh balvanitého skluzu, který nahradí původní pevný jez. Kapacita koryta byla určena pro návrhový průtok odpovídající  $Q_N = Q_{20} = 126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Nově navržený tvar koryta byl určen s přihlédnutím původnímu tvaru a celková koncepce byla zvolena se snahou k přírodě blízkému opatření. V řešeném úseku se nachází malá vodní elektrárna, u které je předpokládáno její zrušení. Náhon na malou vodní elektrárnu byl zachován za účelem odlehčení povodňových průtoků pro střední část řešeného úseku. Tato varianta umožňuje snížení povodňových průtoků o  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , které je schopen náhon převést. Díky tomu mohla být na části úseku protékající intravilánem navržena přírodě blízká úprava toku bez nutnosti budování technických opatření a výstavbou protipovodňových zdí.

Dále byl navrhnut balvanitý skluz jako součást rekonstrukce pevného jezu na říčním kilometru 78,340. Stávající jez byl vybudován v minulém století za účelem vzdouvání vody pro přilehlou malou vodní elektrárnu. Diplomová práce uvažuje s odstraněním malé vodní elektrárny, proto již zde není nutná přítomnost jezové konstrukce. Pevný, lomený jez se šterkovou propustí na levé straně byl zrušen a nahrazen balvanitým skluzem s vodáckou propustí při pravém břehu.

Cíle práce byly tedy následující:

- návrh protipovodňové ochrany,
- návrh balvanitého skluzu jako náhrada za stávající jezovou konstrukci.

### 3. VSTUPNÍ PODKLADY

Podkladem pro vypracování diplomové práce byly:

- A) situace vybrané lokality s geodetickým zaměřením,
- B) hydrologické údaje s N-letými a M-denními průtoky od Českého hydrometeorologického úřadu,
- C) výsledky síťového rozboru s velikostí efektivního ( $d_e$ ) zrna a zrna odpovídajícímu 10 % váhovému zbytku zrn na sítích ( $d_{90}$ ),
- D) fotodokumentace z místní pochůzky.

## 4. BALVANITÉ SKLUZY

### 4.1 Vznik balvanitých skluzů

Vznik balvanitých skluzů se datuje do období 50. let tohoto století při hledání jiných možností, než byla nákladná výstavba spádových stupňů. Výstavbou balvanitých skluzů mělo dojít ke snížení nákladů na stavbu, nutnost kvalifikovaných sil a také snížení zásahu do krajiny a samotného koryta toku.

Při prvních výstavbách balvanitých skluzů v bývalém Československu sloužila jako předloha stavba balvanitého skluzu na území Rakouska, která byla zároveň první stavbou [1].

### 4.2 Popis řešení

Primární funkce balvanitého skluzu je překonání výškového rozdílu horního a dolního dna koryta toku. Stavba balvanitého skluzu nevyžaduje zbudování vývaru za objektem, protože přepadající voda a její kinetická energie je utlumena na délce přelivné plochy. K utlumení kinetické energie přepadajícího paprsku dochází z důvodu velké drsnosti balvanů tvořící skluz. Za skluzem je vhodné realizovat stabilizaci dna, aby bylo zabráněno vymílání a destabilizaci. Pro celkovou stabilizaci balvanitého skluzu je z pravidla v horní části stavby napříč tokem umístěna štětová stěna. Jinou možností je vytvoření zapuštěného klínu z balvanů, který pro větší odolnost může být prolitý betonem.

Budování balvanitého skluzu je výhodnější tam, kde je k dispozici kámen pro stavbu. Dovoz lomového kamene zvyšuje rozpočet stavby. [2]

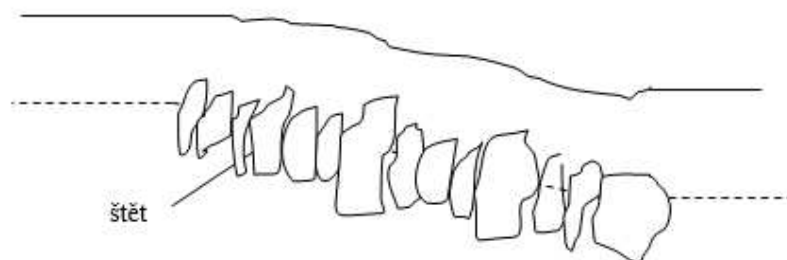
Celkem rozeznáváme tři typy balvanitých skluzů podle metody uložení balvanů:

Metoda 1. V první metodě dochází k vrstvení balvanů na sebe do několika vrstev (obr. 1),



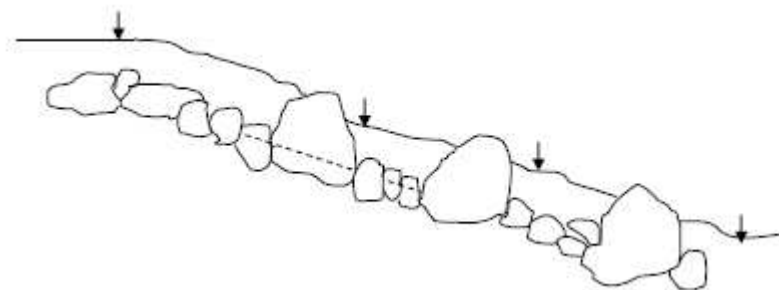
**Obr. 1.** - První varianta skluzu [2]

Metoda 2. Druhou metodou je skládání balvanů na výšku pouze v jedné vrstvě (obr. 2),



**Obr. 2.** - Druhá varianta skluzu [2]

Metoda 3. Třetí metoda vychází ze střídání malých a velkých balvanů (dochází zde k vytvoření umělých peřejí) viz obr. 3.



**Obr. 3.** - Třetí varianta skluzu [2]

### 4.3 Použití balvanitých skluzů

Vhodnou lokalitou pro umístění balvanitých skluzů jsou toky, kde rychlost proudění vody dosahuje rozmezí 1,0 až 3,0 m.s<sup>-1</sup>. Doporučený sklon pro skluzy je 1:6 až 1:12, pokud by byl sklon menší jak 1:6, bude hrozit zhoršení stability balvanů, utlumení kinetické energie bude nedostačující a dojde ke zhoršení průchodnosti vodních živočichů.

Nejvhodnějším umístěním balvanitých skluzů je na přirozených tocích se splaveninami větších rozměrů, na upravených tocích s vegetačním opevněním, na tocích, kde bude probíhat trvalé přelévání vody přes větší část skluzové plochy nebo může balvanitý skluz posloužit jako zabezpečovací prvek při provádění úprav či rekonstrukcí starých objektů.

Nejméně vhodné umístění balvanitých skluzů je pro toky s nestálou hladinou vody, silně znečištěné toky či toky určené pro rekreaci. [2]

## 4.4 Výpočet kapacity přepadu balvanitého skluzu

Kapacitu lichoběžníkového přepadu je možno spočítat:

$$Q = \sigma \cdot A \cdot K \cdot M \cdot b_1 \cdot h_o^{3/2} + \sigma' \cdot 4/5 \cdot M' \cdot m' \cdot h_o^{5/2}, \quad (4.1.)$$

kde:

$\sigma$ ... součinitel zatopení – pro dokonalý přepad je roven jedné, jinak nabývá hodnot menších než jedna (tabulky, např. Balvanité skluzy [3]),

$A$ ... součinitel půdorysného uspořádání koruny přelivu. Je-li osa přelivu kolmá k ose toku, je  $A=1$ ,

$K$ ... součinitel bočního zúžení přelivného otvoru ovlivněný tvarem pilířů, připadá v úvahu především při rekonstrukcích starých objektů na toku (hodnoty 1,0; 0,7; 0,4),

$M$ ... součinitel přepadu – nabývá hodnot 1,45 - 1,8 (tabulky, např. Balvanité skluzy [3]),

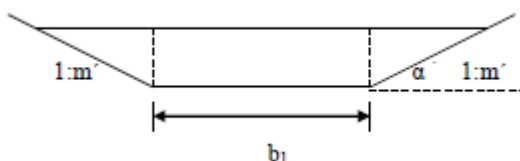
$h_o, h_o'$ ... přepadová + rychlostní výška  $h_o = h + k, k = v_1^2/2g$   $v_1$ ... rychlostní proudění v přítokové trati,

$\sigma'$ ... součinitel zatopení pro přepadové množství nad skloněnými bočními plochami pro dokonalý přepad je roven jedné, jinak nabývá hodnot menších než jedna (tabulky, např. Balvanité skluzy [3]),

$M'$ ... součinitel přepadu nad skloněnými bočními plochami, pro předběžný výpočet možno brát  $M'=1,68$ ,

$m'$ ...  $\cotg \alpha$  (sklon svahů v šikmé části – viz obr. 4).

Pravá strana rovnice a její první část zastupuje přepadové množství vody nad přepadovou hranou a druhá část rovnice vyjadřuje přepadové množství nad skloněnými bočními plochami. [2]



**Obr. 4. -** Schéma koryta [2]



## 4.5 Rychlost na skluzové ploše

Pro zachování stability skluzové plochy musí platit  $v_s < v_{sv}$ , kde  $v_s$  je střední profilová rychlost na skluzu a  $v_{sv}$  je vymílací rychlost na skluzu přípustná pro daný kámen, hloubku a sklon.

$$v_{sv} = 6,8 \cdot D^{1/3} \cdot h^{1/6} \cdot C_s^{1/2} \quad (4.2.)$$

kde:

$D$ ... největší rozměr kamene,

$h$ ... hloubka vody na skluzu v metrech v nejnamáhavějším profilu,

$C_s = \left( \frac{\tan \varphi - \tan \alpha}{\tan \varphi} \right)$ ... součinitel vlivu sklonu na skluzu kamene,

$\varphi = 41^\circ$  ... úhel vnitřního tření balvanitého materiálu ve vodě,

$\alpha$ ... sklon skluzové plochy.

Součinitel vlivu sklonu skluzu na stabilitu kamene lze určit také ze sklonu skluzu dle stanovených hodnot viz tab. 4.1 [2].

**Tab. 4.1 - Součinitel  $C_s$**

Sklon skluzu	$C_s$
1:6	0,8083
1:8	0,8562
1:10	0,8850
1:12	0,9041

## 4.6 Stavební řešení balvanitých skluzů

### 4.6.1 Zabezpečení koruny skluzu

K zamezení vyplavování jemných frakcí písku a zeminy jsou navrhovány svislé prvky jako je například zápleťový plůtek, dřevěná stěna nebo kamenná žebra apod.

Pro ještě větší stabilitu se volí prolití koruny skluzu betonem. Technicky se prolití ukončuje ve výšce třetiny kamene pod střední úrovní vrcholů kamenů skluzu, tzn. horní třetina zůstává neprolita.

Stabilita balvanů se zajistí vyplněním dutin mezi balvany například poštěrkováním nebo vyklínováním lomovým kamenem.

Z důvodu estetického a biologického sjednocení toku je nutno zajistit na skluzu stálý průtok vody alespoň v některých jeho částech. Výška přepadajícího paprsku by měla dosahovat minimálně 5 cm. [3]

#### **4.6.2 Úprava v patě svahu**

Pokud jsou návrhové parametry skluzu na hranici stability, doporučuje se několik opatření. Jedná se například o zdvojení posledních řad balvanů, prolití paty betonem nebo pro skluzy vyšší, jak 2,5 metru je doporučeno umístění larsenů nebo pilot. Volba vhodného typu stabilizace může být určena rybí osádkou. Pro pstruhové řeky není vhodné používání betonu, proto se může volit využití starých kolejnic jako pilot.

Pro stabilizaci paty svahu se upřednostňují horizontální opatření před vertikálními z důvodu hrozby vzniku přepadu a následného prohlubování výmolu.

Pro snižování rizika výmolu se za patou skluzu volí kamenný zához. Využívá se hlavně z důvodu jednoduchosti a snadného doplňování kamenů, pokud dojde k odplavení. Délka záhozu je určena výpočtem. Pokud se skluz nachází na skalním podloží, provádí se zavázání paty svahu ozubem do podloží do hloubky minimálně poloviny velikosti kamene. [3]

#### **4.6.3 Prostorové úpravy**

Pro skluzy vyšší než 3 metry je nevhodné volit horizontální zakřivení přepadové hrany. Přímá přepadová hrana se doporučuje provádět v místech, kde jsou velké průtoky a šířka dna je menší než 10 metrů a platí zde hrozba tvorby výmolů pod skluzem [3].

Požadavky na stavbu:

- pokud je koruna skluzu prolita betonem, musí být zachována drsnost přepadu,
- musí být provedeno ukládání balvanů a ve větších dutinách je nutné vyklínování menšími kameny,
- výjimečně mohou být volně sypané kameny využity na dočasné konstrukce.

#### **4.6.4 Boční zavázání skluzu**

Při velkých průtocích v korytě může docházet k obtékání skluzu velkou vodou, proto je doporučeno boční zavázání do břehů pomocí příčné kamenné stavby – oživená rovnanina. [3].

## 5. POPIS ÚZEMÍ

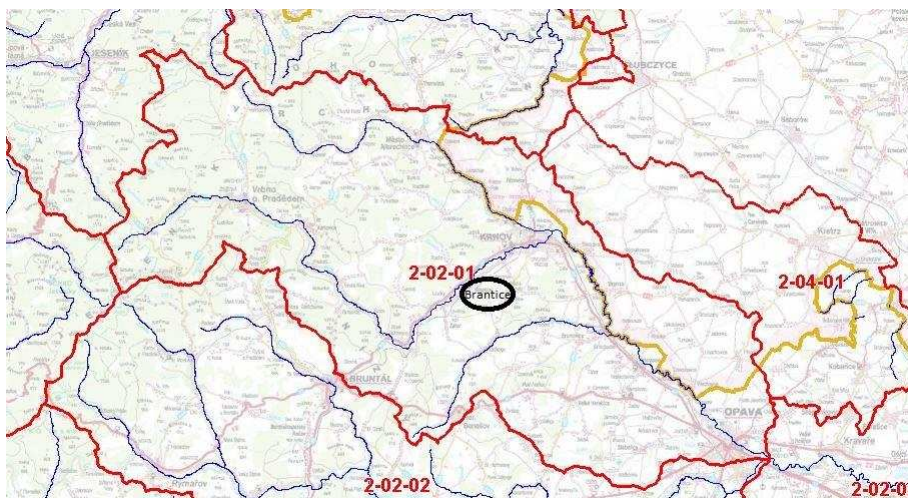
### 5.1 Správní údaje

Zájmová oblast leží na řece Opavě, na říčním kilometru (ř. km) 77,6554 až 78,7024. Řeka protéká obcí Brantice, která leží přibližně 9 km západně od města Krnov (obr. 5). V obci Brantice není žádný hlásný profil spadající do kategorie A nebo B, nejbližší umístěný hlásný profil na řece Opavě je v obci Zátor, jedná se o kategorii C, hlásný profil kategorie A je v Krnově na ř. km 70,12. Na potoce Krasovka, který tvoří levostranný přítok Opavy, jsou umístěné dva hlásné profily spadající do kategorie C, nejbližší je v obci Radim a dále pak v obci Krasov. Brantice mají k dispozici dvě pozorovací místa vybavena vodočetnou latí. První vodočetná lať je osazena na jezu u náhonu na malou vodní elektrárnu (Brantice C1) a druhá lať (Brantice C2) je na konci obce na ř. km 76,6. [4]

Řeka Opava se nachází ve správě státního podniku Povodí Odry se sídlem v Ostravě.

#### Hydrologické charakteristiky

Kraj:	Moravskoslezský
Okres:	Bruntál
Číslo hydrologického pořadí:	2-02-01-0350
Číslo vodohospodářské mapy:	15-13
Délka toku:	109,3 km
Plocha povodí:	2088,8 km <sup>2</sup>



**Obr. 5. -** – Mapa hydrologického pořadí s vyznačeným zájmovým územím [5]

## 5.2 Údaje o povodí

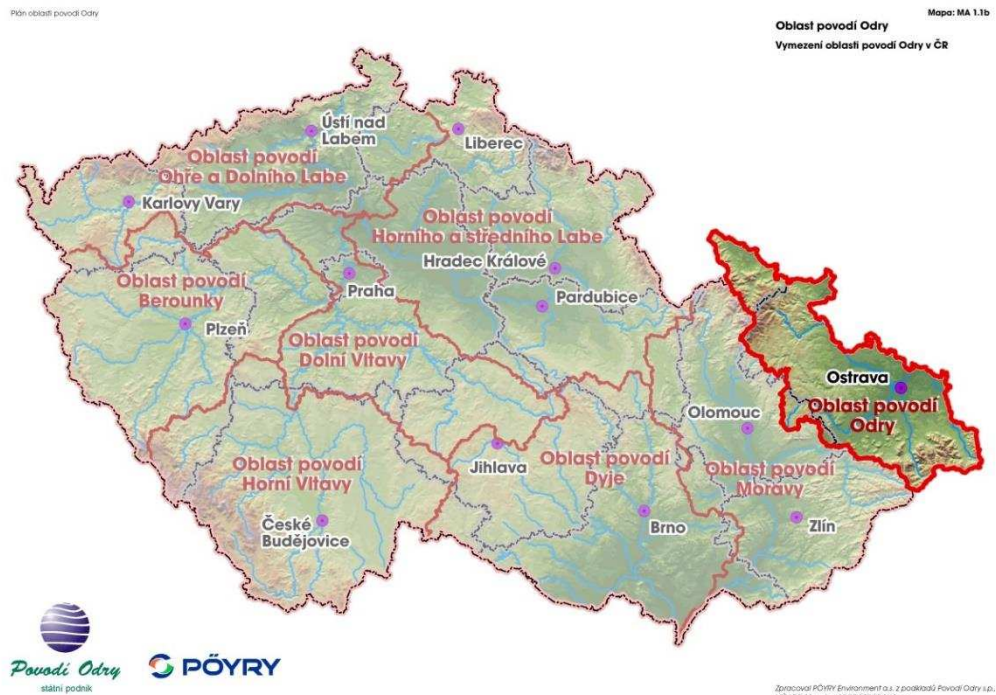
Řeka Opava vzniká nedaleko Vrbna pod Pradědem soutokem Střední a Černé Opavy (obr. 6 a 7). Černá Opava pramení v Hrubém Jeseníku na vrcholu Orlík a Střední Opava má svůj pramen na severozápadních svazích Pradědu. Třetí zdrojnicí Opavy je řeka Bílá Opava, která pramení na jižní straně Pradědu, jedná se o nejmenší zdrojnicí, ale svým přirozeným rázem o nejzajímavější. Nachází se zde peřeje, kaskády ale také vodopád, který dosahuje výšky 8 m. [7]

**Levostranný přítok:** Kobylí potok, Kamenný potok, Jelení potok, Krasovka, Opavice, Mlýnská stoka, Pilštský potok, Kateřinský potok, Juliánka, Vařešinka, Wilžyna, Potok Jakubowski, Młynówka, Chlebičovský potok, Opusta.

**Pravostranný přítok:** Uhlířský potok, Skrbovický potok, Popel, Oborenský potok, Smrčinský potok, Milotický potok, Zátoráček, Mlýnský náhon, Hájnický potok, Černý potok, Čížina, Velká, Lipinka, Městský náhon, Heraltický potok, Moravice, Strouha, Hoštata Sedlinka, Ohrozima, Hrabýňka, Děhylovský potok, Plesenský potok.



Obr. 6. - Mapa s vyznačením soutoku Opavy



**Obr. 7. -** Oblast povodí Odry [8]

### 5.3 Geomorfologické poměry

„Území náleží podle geomorfologického členění ČSR (Demek J. a kol., 1987) k Hercynskému systému, provincii Česká vysočina, subprovincii Krkonošsko-jesenická soustava, Jesenické oblasti, celku Zlatohorská vrchovina, podcelku Jindřichovská pahorkatina a okrsku Brantická vrchovina.

Z geologického hlediska se zájmové území nachází v moravskoslezské oblasti Českého masívu, dílčí jednotce moravsko-slezský kulm (spodní karbon). Kulm je tvořen komplexem klastických sedimentárních hornin s převažujícími černými jílovými břidlicemi.

Kvartérní pokryv je tvořen komplexem fluvialních sedimentů a glaci-fluvialních uloženin. V údolní nivě je vyvinuta mocná poloha štěrkovitých sedimentů. V nadloží štěrku se nachází vrstva hlinitých písků a náplavových hlín.

Na svazích údolní nivy jsou návěje sprašových hlín, v jejichž podloží jsou deluviální sedimenty, které mají povahu hlín s příměsí úlomků.“ [9, s. 24]

Geologické poměry povodí Odry jsou na Obr. 8.





Povodí Odry a jeho dílčí část, povodí Opavy patří do klimatické oblasti chladné až mírně teplé. Chladná oblast (CH7) se nachází na východě povodí. Pro tuto oblast je specifické velmi krátké až krátké léto, mírně chladné a vlhké. Zima je dlouhá mírná, mírně vlhká a je zde dlouhé trvání sněhové pokrývky. Ve střední části povodí panuje klimatická, mírně teplá oblast (MT3), která se vyznačuje krátkým létem, které je mírné až mírně chladné, suché až mírně suché. Zima je normálně dlouhá, mírná až mírně chladná, suchá až mírně suchá a sněhová pokrývka má zde normální až krátké trvání. Nejteplejší oblast se nachází v západní části povodí, které je zařazeno do klimatické mírně teplé oblasti (MT7).

Oblast obce Brantice patří k mírně teplým oblastem. Z dlouhodobého měření v oblasti Povodí Odry byla stanovena průměrná dlouhodobá roční teplota vzduchu, která činí 7,1 °C. Jako nejchladnější měsíc z dlouhodobého pozorování je leden, jeho teplota vzduchu je -3,1°C. Naopak nejteplejším měsícem je červenec s dlouhodobou průměrnou teplotou vzduchu 16,3 °C. [8]

## 5.5 Hydrologické poměry

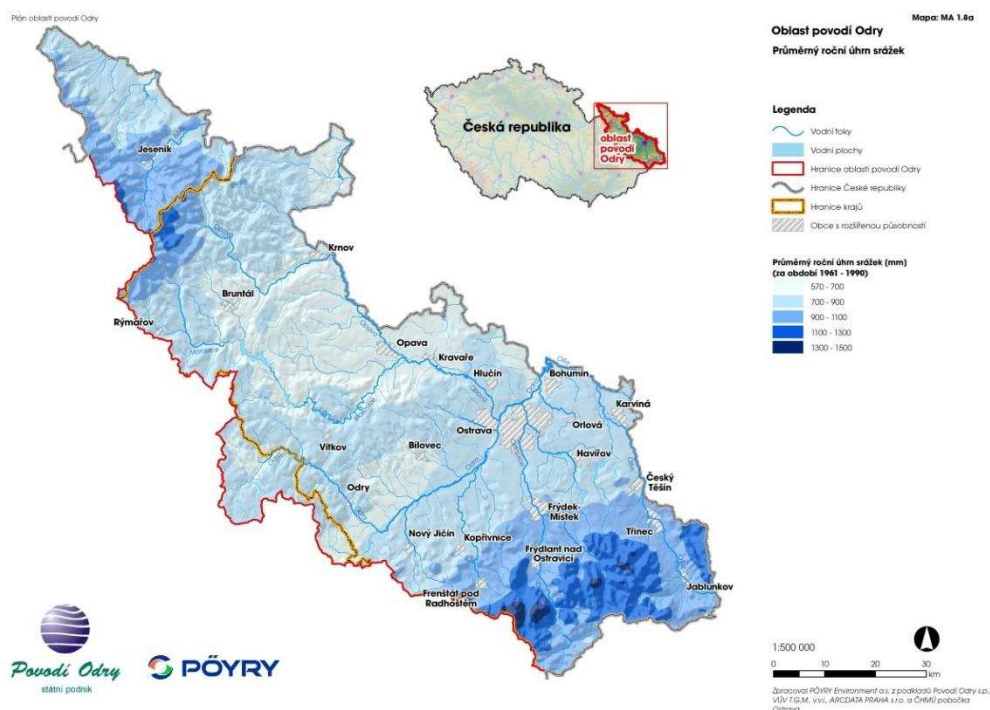
Povodí Odry se rozděluje na dvě hydrologicky odlišné oblasti vzhledem ke geologické stavbě. Jedná se o oblast beskydskou a jesenickou.

Vývoj toků v povodí byl nejvíce ovlivněn v období čtvrtohor kolísáním klimatu. Staré říční sedimenty se vyskytují převážně v dolním toku Opavy a Odry.

Pro povodí a jeho říční síť je nejvýznamnější řeka Odra. V oblasti Ostravské pánve do Odry vtéká řeka Opava, Ostravice a Olše. Nad soutokem s Olší dosahuje Odra dlouhodobého průměrného průtoku  $49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , po soutoku s Olší dosahuje dlouhodobý průměrný průtok  $63 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Za nejvýznamnější přítok Odry je považována řeka Opava, hydrologicky s Odrou je téměř stejná. Rozlohou a délkou toku je Opava v místě soutoku dominující ( $2089 \text{ km}^2$  a  $122 \text{ km}$ , Odra  $1616 \text{ km}^2$  a  $111 \text{ km}$ ). Z beskydské strany je z hlediska hydrologického vlivu považována za nejvýznamnější řeka Ostravice ( $872 \text{ km}^2$ ,  $64 \text{ km}$ ).

Roční srážkový úhrn na celé ploše povodí je  $5,1 \text{ mld m}^3$  srážek, roční srážkový úhrn na průměrnou plochu je  $820 \text{ mm}$  a z toho odtok činí téměř  $300 \text{ mm}$  (obr. 9). Průměrný odtokový součinitel byl stanoven na  $0,35$ . Pro řeku Opavu je odtokový součinitel  $0,3$ , jedná se o nejnižší hodnotu odtokového součinitele v oblasti povodí. [8]



Obr. 9. - Průměry ročního úhrnu na území povodí Odry [8]

### 5.5.1 Hydrologická data

Informace o hydrologických poměrech jsou z vybraných profilů řeky Opavy v úseku Vrbo pod Pradědem až Držkovice. Data byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ), pobočkou Ostrava ke dni 30. 10. 2008.

#### Hlásný profil Pod Zátoráčkem:

Hydrologické číslo povodí:	2-02-01-0350
Plocha povodí:	302,73 km <sup>2</sup>
Průměrný roční průtok:	$Q_a=3,80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Třída:	II.

**Tab. 5.1** – M-denní průtoky pro řeku Opavu, profil Pod Zátoráčkem

<b><math>Q_m</math> – m-denní průtoky [<math>\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}</math>]</b>						
<b>30</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>150</b>	<b>180</b>	<b>210</b>
8,52	5,99	4,69	3,83	3,20	2,70	2,28
<b>240</b>	<b>270</b>	<b>300</b>	<b>330</b>	<b>355</b>	<b>364</b>	
1,92	1,59	1,28	0,965	0,635	0,395	

**Tab. 5.2** – N-leté průtoky pro řeku Opavu, profil pod Zátoráčkem

<b><math>Q_N</math> – N-leté průtoky [<math>\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}</math>]</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
22,2	39,0	67,5	93,7	124	170	211

#### Hlásný profil Pod Krasovkou

Hydrologické číslo povodí:	2-02-01-0370
Plocha povodí:	352,57 km <sup>2</sup>
Průměrný roční průtok:	$Q_a=4,18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Třída:	II.

**Tab. 5.3** – M-denní průtoky pro řeku Opavu, profil Pod Krasovkou

<b><math>Q_m</math> – m-denní průtoky [<math>\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}</math>]</b>						
<b>30</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>150</b>	<b>180</b>	<b>210</b>
9,34	6,58	5,15	4,21	3,52	2,97	2,51
<b>240</b>	<b>270</b>	<b>300</b>	<b>330</b>	<b>355</b>	<b>364</b>	
2,12	1,76	1,43	1,08	0,719	0,460	



**Tab. 5.4** – N-leté průtoky pro řeku Opavu, profil pod Krasovkou

$Q_N$ – N-leté průtoky [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]						
1	2	5	10	20	50	100
24,2	39,7	67,4	94,0	126,0	176,0	221,0

Pro výpočet byla použita data z hlásného profilu pod Krasovkou, protože přítok Krasovky se nachází v řešené lokalitě.

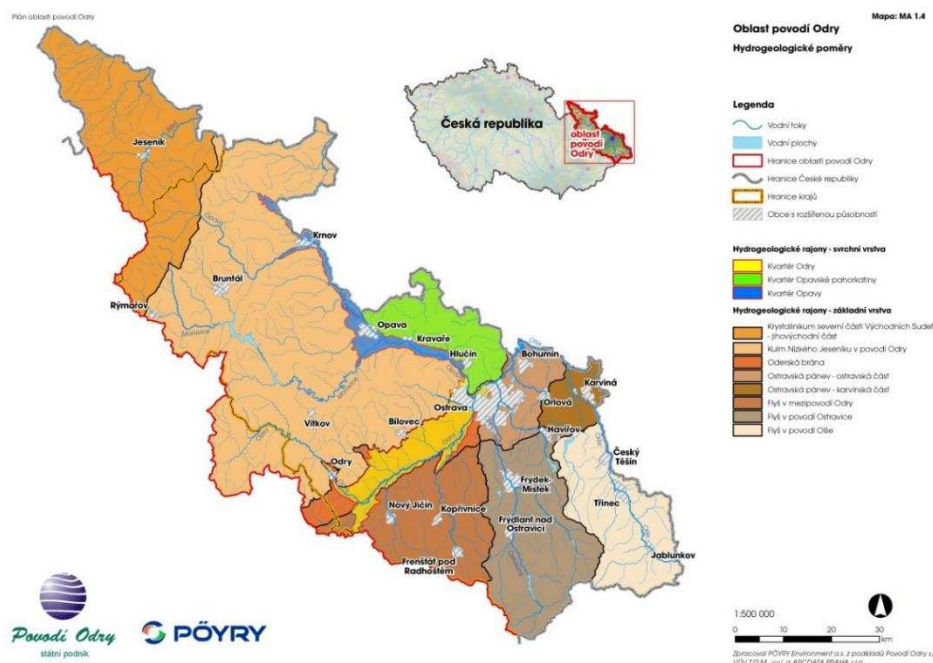
Součástí podkladů byly hodnoty síťového rozboru s hodnotou 10 % váhového zbytku zrn na sítích  $d_{90} = 98$  mm a hodnotou efektivního zrna  $d_e = 45$  mm.

## 5.6 Hydrogeologické poměry

Pro větší část povodí Odry je typický větší roční srážkový úhrn, který v horských oblastech přesahuje 1000 mm. V oblastech se nachází velký, ale nerovnoměrný odtok z důvodu výskytu hornin se sníženou akumulací podzemní vody (obr. 10).

V některých oblastech povodí je značná absence podzemních vod a voda je zde poskytována z vodárenských nádrží. Podzemní vody na území povodí Odry jsou svojí tvrdostí zařazeny do kategorie měkké až smíšené.

Východně od Hrubého Jeseníku se nachází minerální vody nazývány postvulkanické kyselky, na ostravsko-karvinském revíru se vyskytují slané minerální vody, jako je např. jodobromová voda typická pro město Darkov. [8]



**Obr. 10.** - Hydrogeologické poměry povodí Odry [8]

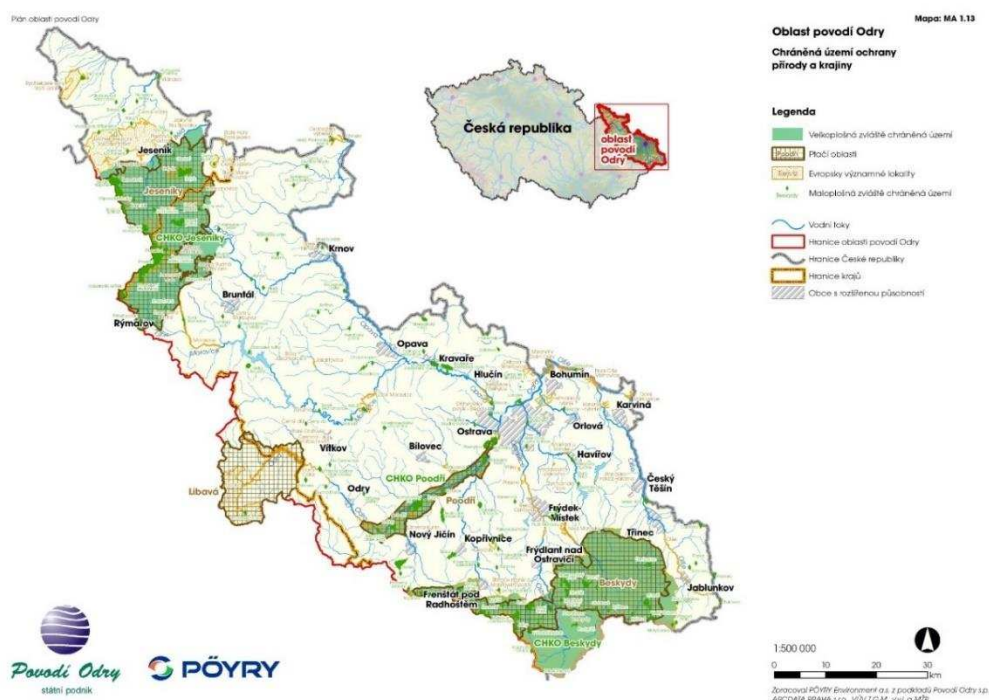
## 5.7 Údaje o průmyslu

Na území obce Brantice se nachází přibližně 20 firem různých činností, např. strojírenství, stavebnictví, zemědělství, textilní a jiné. Jedná se zejména o malé firmy a malopodnikatele. Žádná z firem nemá negativní vliv na životní prostředí a ovzduší v obci.

## 5.8 Životní prostředí

Mapování a rozsah ochrany přírody v ČR vymezuje zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Na území povodí Odry se vyskytuje několik chráněných krajinných oblastí (CHKO). Celým svým územím patří do povodí Odry CHKO Poodří, menší částí do povodí zasahuje CHKO Beskydy a CHKO Jeseníky (obr. 11).

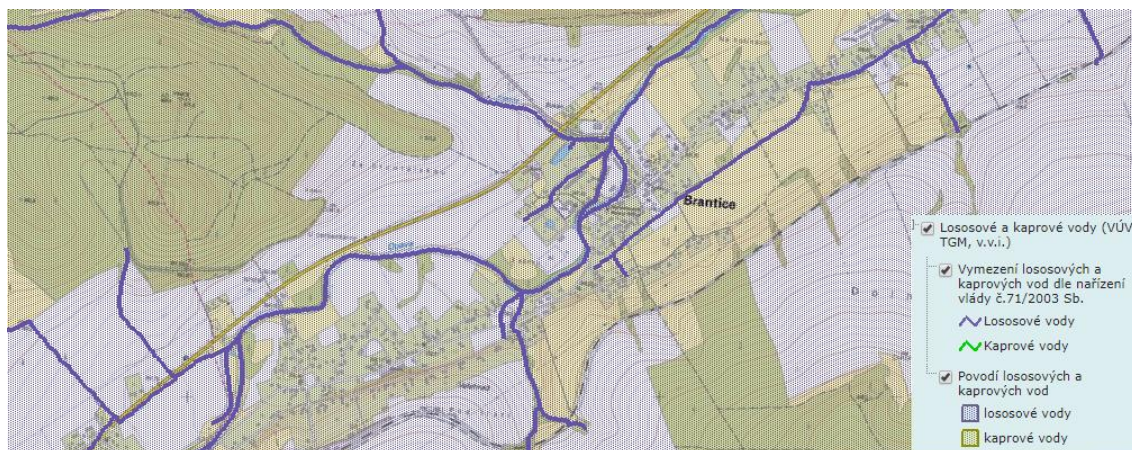
Na území obce Brantice se nenachází žádná přírodní rezervace nebo CHKO [8].



Obr. 11. - CHKO na území povodí Odry [8]

## 5.9 Rybochov

Řeka Opava v řešené lokalitě patří mezi vody lososové [5]. Konkrétněji oblast spadá do lipanového pásma (obr. 12). [7]



**Obr. 12.** - Vymezení rybích pásen [5]

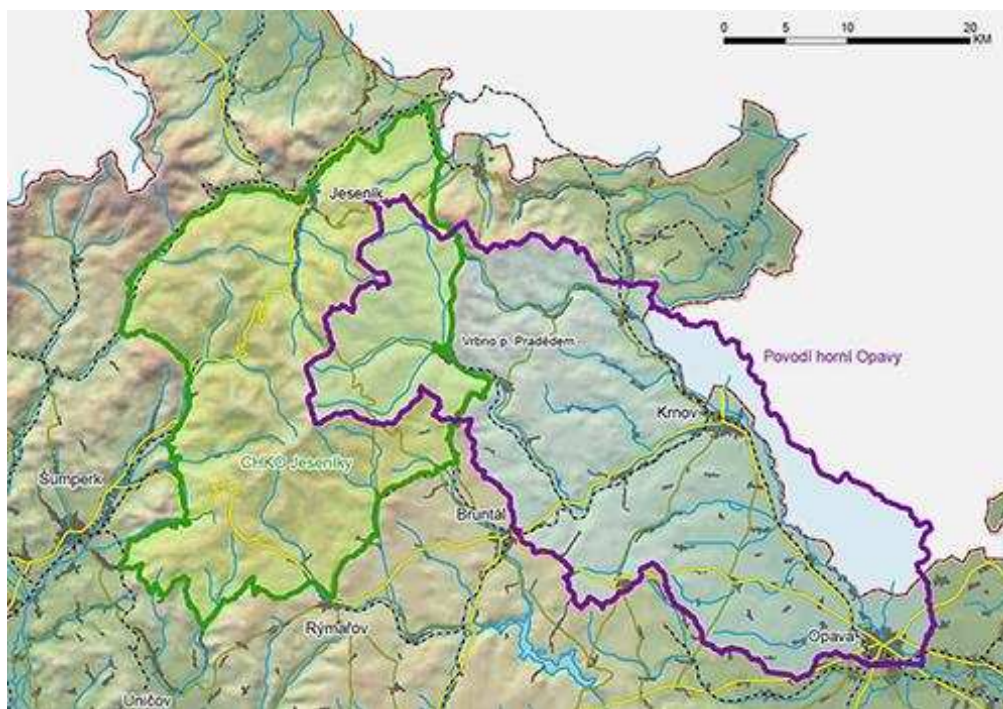


## 6. POPIS ŘEŠENÉHO ÚSEKU

### 6.1 Opatření na horní Opavě (OHO)

Při katastrofálních povodních v roce 1997 bylo povodí Opavy jedním z nejvíce zasaženým územím v České republice, proto se ihned po povodni začalo pracovat na protipovodňovém opatření, které by zmírnilo následky povodní (obr. 13). Bylo zpracováno několik desítek studií, posudků a stanovisek na základě, kterých bylo vybráno řešení navrhuující několik opatření včetně výstavby suchých nádrží nebo nádrže Nové Heřminovy. [10]

Opatření na horní Opavě jsou navrhována od začátku řeky Opavy po její soutok s řekou Moravicí, který se nachází poblíž města Opava. Celková rozloha této části povodí, činí 946 km<sup>2</sup>. [11]



**Obr. 13.** - Mapa s vyznačením Povodí horní Opavy [11]

Největším a nejdůležitějším prvkem celé ochrany před povodněmi na území horní Opavy je návrh vodní nádrže Nové Heřminovy. Nejvhodnějším místem pro nádrž bylo vybráno zúžené místo v údolí Opavy mezi obcemi Nové Heřminovy a Zátor.

První zmínka a návrh nádrže vznikl již v roce 1923. [12]

Ve Státním vodohospodářském plánu republiky Československé (SVP) z roku 1955 v kategorii energetická vodní díla plánovaná se již s nádrží Nové Heřminovy uvažuje. Dle SVP se přehrada měla nacházet na ř. km Opavy 86,8 s celkovým objemem 135 mil. m<sup>3</sup> a vyrovnávací nádrž na ř. km 82,6.

V dubnu roku 2008 bylo vládou České republiky přijato usnesení vlády o realizaci opatření na snížení povodňových rizik na úseku horní Opavy s využitím přírodně blízkých povodňových opatření. Výsledkem usnesení je realizace menší nádrže Nové Heřminovy, která by neznamenal pro stejnojmennou obec ve velkém rozsahu její přesunutí mimo zátopu, ale přesunuto by bylo jen malé procento obce a tím by byl umožněn její další rozvoj (obr. 14). Nyní stavba čeká na vykoupení zbývajících pozemků, aktuálně (12/2018) je vykoupeno téměř 98 % pozemků. [12]

Nově navržená nádrž dokáže transformovat nynější průtok při stoleté povodni z  $Q_{100} = 206 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na  $Q_{100} = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Celkový objem nádrže je navržen na 14,54 mil. m<sup>3</sup> s maximální výškou hráze 26,5 m a délkou cca 330 m. Plocha, která bude zatopena, se rozprostírá na 129,64 ha a má délku 2,9 km. Investorem stavby přehrady je Povodí Odry, státní podnik.

Včetně protipovodňového účinku má nádrž také kladný vliv na živočichy a přírodu v toku a její blízkosti. Voda vypouštěná spodními výpustěmi způsobuje aeraci v toku, kterou je zajišťováno její provzdušňování. Jeden z mnoha dalších pozitivních vlivů je zmírnění šterkonosného efektu na Opavě. Součástí výstavby je také přeložka silnice I/45 Krnov – Bruntál. [13]

Výstavbou nádrže dojde k zastavení šterkonosného chodu a na dně nádrže budou vznikat velké nánosy sedimentů, proto je navrženo opatření, které zajistí návratnost materiálu zpět do řeky pod vodním dílem (VD). Ve vzdálenosti 500 m pod nádrží je navrženo umístění dotačního prostoru, do kterého se budou pomocí umělého transportu přemisťovat usazeniny vytěžené ze dna nádrže [19].



**Obr. 14. - Model nově navrhnuté nádrže Nové Heřminovy [13]**

Další souvislá opatření jsou navržena od nádrže až po město Krnov, jejichž funkcí je zvýšení a sjednocení úrovně ochrany před povodněmi. Pod Krnovem jsou navržena opatření sloužící převážně jako samostatná ochrana jednotlivých sídel. V místě, kde Opava vytváří česko-polskou hranici, je navrženo povodňové opatření, které vyrovnává úroveň ochrany na obou stranách státních hranic. Po celé délce úseku, kde je navržena protipovodňová ochrana, je také navrženo několik suchých nádrží, které eliminují škody vzniklé velkými přivalovými dešti. Součástí celé koncepce je zlepšení hlásné a protipovodňové služby doplněním limnigrafických a srážkoměrných stanic na území ČR a Polska. [14]

## 6.2 Řešená lokalita

Zájmová oblast se nachází na území obce Brantice na řece Opavě. Úsek je dlouhý 1047 m, začíná na ř. km 77,6554 a končí na ř. km 78,7024 (obr. 15). Na řece v ř. km 78,340 se nachází pevný lomený jez s náhonem na malou vodní elektrárnu (MVE) a splaveninou propustí (obr. 16 až 20). Náhon na MVE je dlouhý cca 318 m. Jez je betonový, podjezí je tvořeno z betonových panelů spojenými kovovými táhly, za panely se nachází kamenný zához z těžkého kamene. Betonové panely jsou popraskané a kamenný zához rozplavený. Přelivná hrana jezové konstrukce je po délce proměnná, od pravého břehu klesá směrem k levému břehu. Na levém břehu u jezu stojí historický zámek se zámeckými zahradami a na pravém břehu obytný dům se zahradou. Proti toku dále na levém břehu je sportovní hřiště a přilehlé zázemí. Po směru toku se nachází intravilán obce a na toku jsou vybudovány dva silniční mosty a jeden dřevěný sloužící jako příjezd k pile. První silniční most se nachází ve staničení 78,2854, druhý most na řece na ř. km 78,18074 je most dřevěný, který umožňuje příjezd k pile, poslední most na řešeném úseku je také silniční a nachází se na ř. km 77,8808. Koryto toku je z větší části po březích porostlé stromy a křovinami. Podrobnější fotodokumentace řešené lokality se nachází v příloze P. 14 – Fotodokumentace.



**Obr. 15. - Mapa s vyznačením řešeného úseku [6]**





**Obr. 16.** - Pohled z pravého břehu na jez (ř. km 78,340)



**Obr. 17.** - Pohled proti směru proudu na jez





**Obr. 18.** - Pohled po směru proudu z nadjezí na jez a silniční most



**Obr. 19.** - Objekt MVE



Malá vodní elektrárna je umístěna přibližně 160 m od začátku náhonu, který začíná v nadjezí. V rámci diplomové práce je uvažováno o výkupu MVE, která dále bude majetkem Povodí Odry, státní podnik a bude provedeno její zrušení.



**Obr. 20.** - Lomený betonový jez, ř. km 78,340

## 6.3 Popis řešení

Protipovodňová ochrana byla řešena v zájmu přírodě blízkému opatření. V zájmové oblasti došlo k rozdělení do čtyř částí, první část se nachází nad balvanitým skluzem až po konec úseku, druhá část pod balvanitým skluzem po soutok řeky Opavy s náhonem, třetí část je od začátku úseku po soutok a poslední část je náhon na MVE (obr. 21).



**Obr. 21.** - Rozdělení řešené lokality

V první části, v úseku nad navrhovaným balvanitým skluzem v ř. km 78,3514 až 78,7024 je koryto řešeno jako složené lichoběžníkové se stěhovavou kynetou. Kyneta je hluboká 0,8 m, všechny svahy jsou navrhovány ve sklonu 1:2. Pro navýšení kapacity byly navrženy hrázky nacházející se nejdříve na levém břehu, dále pak i na břehu pravém. Bylo navrženo opevnění z kamenné rovnaniny pro patu svahu a svah bermy, viz příloha P.5 – Vzorové řezy. Řešený úsek byl navrhován na  $Q_N = 126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

V druhé části, v úseku od balvanitého skluzu po soutok s náhonem v ř. km 77,9254 až 78,3114 bylo navrženo jednoduché lichoběžníkové koryto s opevněním ve svahu a patě svahu z kamenné rovnaniny. Tento úsek se nachází v intravilánu a není zde možnost rozšířit koryto řeky, proto bylo zvoleno jednoduché lichoběžníkové koryto a zároveň bylo přihlédnuto k původnímu tvaru koryta. Šířka koryta ve dně je proměnlivá vzhledem k původnímu stavu. Řešený úsek byl navrhován na  $Q_N = 106 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  z důvodu zachování náhonu, který je schopen odlehčit průtok o  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Třetí část nacházející se na ř. km 77,6554 až 77,9164 byla řešena obdobně jako část první. Bylo navrženo složené lichoběžníkové koryto se stěhovavou kynetou o hloubce 0,8 m a svahy ve sklonu 1:2. Řešený úsek byl navrhován stejně jako úsek první na  $Q_N = 126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Čtvrtá část je náhon na MVE, který je dlouhý přibližně 318 metrů. Přesné parametry náhonu a vodní elektrárny nejsou k dispozici, protože nebylo provedeno geodetické zaměření této části. K dispozici je zaměření pouze začátku a konce náhonu. Byla zvolena varianta zachování náhonu po odstranění MVE. Zachováním náhonu dojde k odlehčení průtoku druhé části (mezi balvanitým skluzem a soutokem s náhonem) až o  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Pokud by došlo k zasypání náhonu, bylo by nutné uvažovat s vybudováním opěrných zdí ve druhé části úseku pro navýšení jeho kapacity.

V rámci práce bylo uvažováno zrušení jezové konstrukce včetně splaveninové propusti. Jez bude nahrazen balvanitým skluzem s vodáckou propustí situovanou na pravém břehu a rybím přechodem v ose skluzu. Balvanitý skluz byl navržen ve sklonu 1:10 s převýšením 1,7 m.

Každá migrační překážka na toku by měla být opatřena například rybím přechodem, který umožní přirozenou migraci ryb a vodních živočichů. Rybím přechodem jsou nazývány objekty, které pomáhají rybám překonat výškové rozdíly hladin vznikající vybudováním vodní elektrárny, jezu atd.

Ačkoliv samotný balvanitý skluz, který je navrhován místo stávající jezové konstrukce není obvykle považován za migrační překážku, je pro některé druhy ryb neprůchodný z důvodu navrhovaného sklonu 1:10. Část Opavy, která je zájmovou lokalitou, spadá do oblasti vod typu lososového, konkrétněji pásma parmového [5]. Tento druh rybí obsádky je schopen překonávat maximální sklon 1:15 [16].

Tato problematika byla vyřešena snížením přelivné hrany v ose balvanitého skluzu a vytvoření tzv. stupňovitého přechodu s šířkou 3 m. Jednotlivé stupně jsou vyspádovány ve sklonu 1:15 a v osové vzdálenosti 2,12 m odděleny balvany uloženými na štět. Kameny rybího přechodu jsou uloženy do betonového lože. Podobně byl vybudován balvanitý skluz na řece Velička v rámci revitalizace toku (obr. 22).

Vodácká propust byla uvažována ve sklonu 1:15, šířkou 2 m a celkovou délkou 20,4 m. Před vodáckou propustí budou vybudovány schody z kulatin a průměru cca 20 cm pro možnost vynášení lodí a lepší přístup pro vodáky.





**Obr. 22. -** Balvanitý skluz s rybím přechodem, řeka Velička [15]

## 7. HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

K sestavení matematického modelu pro zjištění kapacity koryta bylo využito programu HEC-RAS 4.1.0 (Hydraulic Engineering Center – River Analysis System). Program je vynálezem U. S. Army Corps of Engineers (USACE) patřící pod Ministerstvo obrany U.S.A (U.S. Department of Defense). Program provádí výpočty na základě metody po úsecích. K výpočtu kapacity, pro řešení diplomové práce bylo využito 1D proudění v otevřených korytech.

### 7.1 Proudění vody v otevřených korytech

Při řešení proudění vody se nejčastěji využívá jednorozměrných modelů (1D). Výstupem z 1D modelů jsou zpravidla hodnoty s konstantní průřezovou rychlostí a konstantní polohou hladiny v celém průtočném profilu. Orientačně 1D modelem lze zjistit informace o rozdělení rychlostí v průtočném profilu, pro přesnější hodnoty je doporučeno využití vícerozměrných modelů (1,5D, spřažený 1D/2D a také 2D model).

#### Ustálené proudění

Při řešení ustáleného neboli stacionárního proudění jsou veličiny popisující kapalinu (např. rychlost, průřezová plocha, průtok atd.) v čase neměnné a záleží pouze na poloze. Ustálené proudění je dále děleno na proudění rovnoměrné a nerovnoměrné.

Proudění ustálené rovnoměrné v přírodě prakticky neexistuje. Proudění se vyznačuje konstantním průtokem, průřezovou plochou, hloubkou a rychlostí.

Obvyklejším jevem je proudění ustálené nerovnoměrné, které je vyjádřeno neměnným průtokem v čase. Dochází zde ke změně průtočného průřezu a sklonu po délce toku. Nerovnoměrné proudění lze řešit pomocí metody po úsecích, viz kapitola 7.1.1. [17].

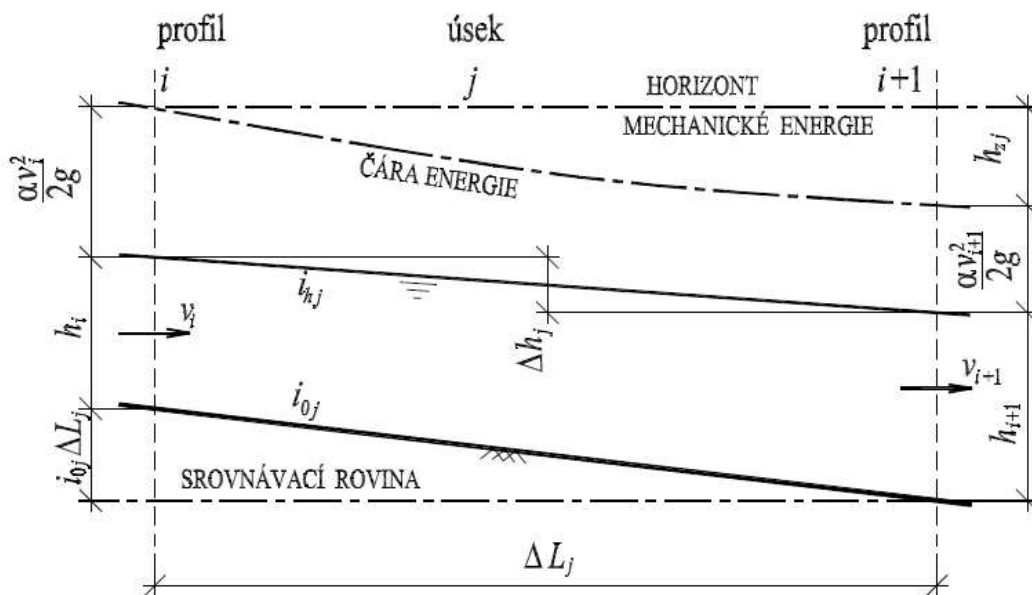
#### Neustálené proudění

Neustálené proudění je popsáno jako proudění, při kterém je v čase a poloze proměnná rychlost, průřezová plocha a průtok.

### 7.1.1 Metoda po úsecích

Metoda je využívána při výpočtu nerovnoměrného ustáleného proudění a je využívána programem HEC – RAS.

V počátku řešení je koryto určené pro výpočet rozděleno na úseky. V každém úseku je předpoklad, že rychlosti a průtočné profily se mění spojitě z hodnot v horním profilu na hodnoty v dolním profilu, jak je znázorněno na Obr. 23. Pro tento úsek  $j$ , mezi jednotlivými profily  $i$  a  $i+1$  lze aplikovat Bernoulliho rovnici.



**Obr. 23.** - Schéma výpočtu nerovnoměrného proudění [18]

Pro schéma uvedené na Obr. 23 lze zapsat Bernoulliho rovnici v následujícím tvaru:

$$i_{0j}\Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj}, \quad (7.1.)$$

kde:

$i_{0j}$ ...průměrný podélný sklon koryta daného úseku [-],

$\Delta L_j$ ... délka úseku [m],

$\alpha$ ... Coriolisovo číslo a předpokládá se konstantní pro celý úsek [-],

$h_i, h_{i+1}$ ... hloubka vody v daném profilu [m],

$v_i, v_{i+1}$ ... průtočná rychlost v daném profilu [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],

$h_{zj}$ ... celková ztráta energie v daném úseku [m].

Celková ztráta energie se spočte:

$$h_{zj} = h_{tj} + h_{mj}, \quad (7.2.)$$

kde:

$h_{mj}$ ... místní ztráty [m],

$h_{tj}$ ... ztráty třením po délce [m].

Ztráty místní lze spočítat:

$$h_{mj} = \xi \left| \frac{\alpha v_{i+1}^2 - \alpha v_1^2}{2g} \right|, \quad (7.3.)$$

$\xi$ ... součinitel místní ztráty.

Ztráty po délce lze spočítat:

$$h_{tj} = i_{pj} \Delta L_j, \quad (7.4.)$$

$i_{pj}$ ... průměrný sklon čáry energie [-].

Pro výpočet  $i_{pj}$  existuje více postupů. Byl vybrán výpočet vztah (7.5), který vykazuje celkem vysokou přesnost i při výpočtech s extrémními poměry [18].

$$i_{pj} = \frac{Q^2}{S_{pj}^2 C_{pj}^2 R_{pj}}, \quad (7.5.)$$

$Q$ ... průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$S_{pj}$ ... průměrná hodnota průtočné plochy mezi profily [ $\text{m}^2$ ], která se spočte:

$$S_{pj} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2}, \quad (7.6.)$$

$C_{pj}$ ... průměrná hodnota Chézyho rychlostního součinitele mezi profily [ $\text{m}^{0.5} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

která se spočte jako:

$$C_{pj} = \frac{C_i + C_{i+1}}{2}, \quad (7.7.)$$

$R_{pj}$ ... průměrná hodnota hydraulického poloměru mezi profily [m], která se spočte jako:

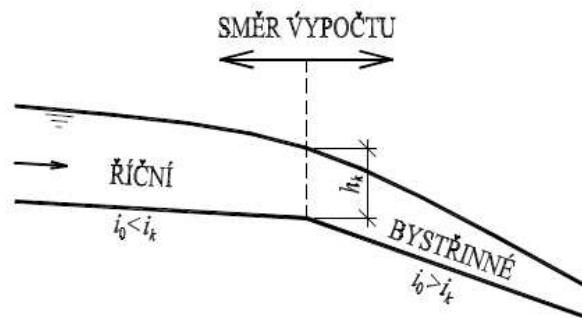
$$R_{pj} = \frac{R_i + R_{i+1}}{2}. \quad (7.8.)$$

Výpočet se provádí od profilu, ve kterém je známa hloubka vody. Hodnota hloubky vody je zároveň okrajovou podmínkou. Pro správný postup výpočtu je nutné rozeznat, o jaké proudění v korytě se jedná (obr. 24).

Pro říční proudění výpočet začíná v dolním profilu ze zadané hloubky a dále se postupuje proti proudu toku. Okrajová podmínka je zadávána do dolního profilu.



Pro bystrinné proudění výpočet začíná v horním profilu ze zadané hloubky a dále postupuje po proudu toku. Okrajová podmínka je zadávána do horního profilu. [18]



Obr. 24. - Směr výpočtu [18]

## 7.2 Výpočet v programu HEC – RAS – Vstupní data

### 7.2.1 Geometrická data

Celková délka řešeného úseku je 1,047 km řeky Opavy a 318 m náhonu, který je zachován po MVE. Příčné profily byly vytvořeny z poskytnuté situace s geodetickým zaměřením.

#### Drsnost

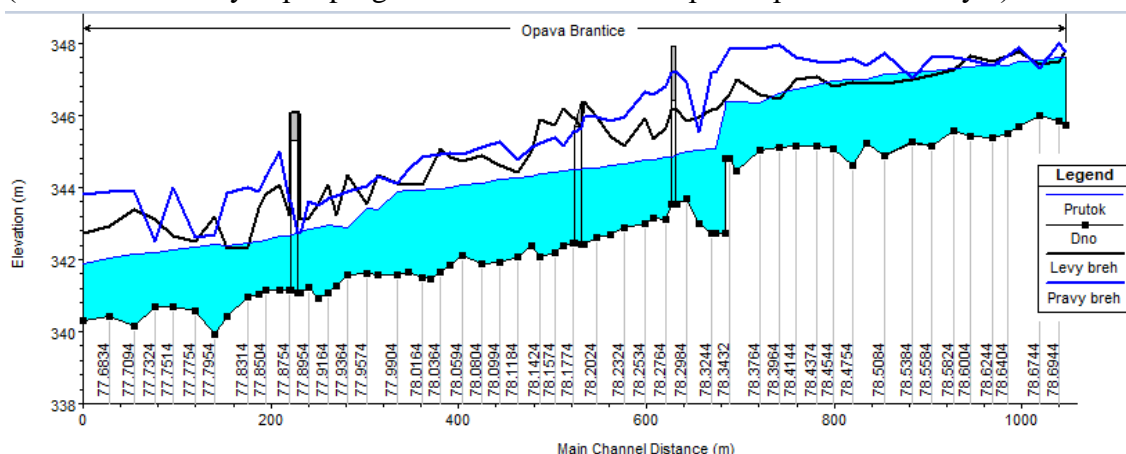
Stanovení drsností v korytě bylo provedeno po obhlídce terénu a katalogu drsností. Součinitel drsnosti svahů  $n_s = 0,045$  a součinitel drsnosti dna  $n_d = 0,035$ .

### 7.2.2 Okrajové podmínky

Okrajová podmínka byla vložena do dolního profilu v ř. km 77,6554 z důvodu říčního proudění, které se v řešené lokalitě nachází. Pro výpočet průběhů hladin byla vložena dolní okrajová podmínka, která vychází z výpočtu výšky hladiny v dolním profilu na základě známé geometrie profilu a podélného sklonu.

## 7.3 Kapacita stávajícího koryta

Do programu bylo vloženo celkem 66 příčných profilů popisující řešený úsek o délce 1,047 km. Kapacita koryta  $Q = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je pro začátek úseku až po jez, od jezu až po konec úseku je koryto méně kapacitní, kapacita koryta je pouze  $Q = 25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . (Příloha P.11 – Výstup z programu HEC – RAS – Kapacita původního koryta)



**Obr. 25.** - Podélný profil z programu HEC-RAS pro  $Q = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

## 7.4 Nově navržené koryto

Základním požadavkem práce bylo zvýšení ochrany obce Brantice před povodněmi a v rámci návrhu provést úpravu koryta a rekonstrukci jezu.

Řešený úsek byl rozdělen do čtyř částí (Obr. 21). Jednu část tvoří náhon, který bude zachován po odstranění MVE a úprava koryta zde nebyla navrhována z důvodu absence geodetického zaměření. Předpokládá se, že od počátku náhonu po elektrárnu je vyšší spád a od elektrárny dále je spád dna mírnějšího rázu. Pokud by se tento předpoklad potvrdil dodatečným zaměřením, bylo by vhodné provést urovnání dna do jednotného sklonu. Dolní a horní část úseku je upravena do složeného lichoběžníkového koryta se snahou provést přírodě blízké opatření. Prohloubená část koryta je uvažována jako stěhovavá kyneta s hloubkou 0,8 m a šířkou ve většině profilů 6,8 m.

Za střední část řešeného úseku je považován úsek od počátku náhonu až po jeho soutok s Opavou. Tento řešený úsek protéká intravilánem obce, a proto zde není moc prostorových možností pro rozšiřování koryta. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k variantě zachování náhonu k MVE po jejím odstranění, který odlehčí střední části řešeného úseku o  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Koryto ve střední části je upraveno do jednoduchého lichoběžníkového tvaru. Šířka koryta je proměnlivá tak, aby co nejvíce napodobovala tvar původního koryta.

Všechny svahy na celém úseku jsou navrhovány v jednotném sklonu 1:2. Opevnění pro celý úsek bylo navrženo jednotné z kamenné rovnaniny ve sklonu 1:1,5 do výšky 1,82 m. V patě svahu, kde dochází k výmolu, byla navržena patka z lomového kamene ve výšce 0,5 m a šířce 1,1 m.

Pro násypy bylo uvažováno využití materiálu získaného v rámci úpravy koryta toku.

Drsnost svahů pro výpočet byla  $n_s = 0,035$  a drsnost dna  $n_d = 0,03$ . Návrhový průtok byl uvažován  $Q_N = Q_{20} = 126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pro horní a dolní část řešeného úseku, pro střední část, kde je průtok odlehčen o  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  bylo  $Q_N = 106 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

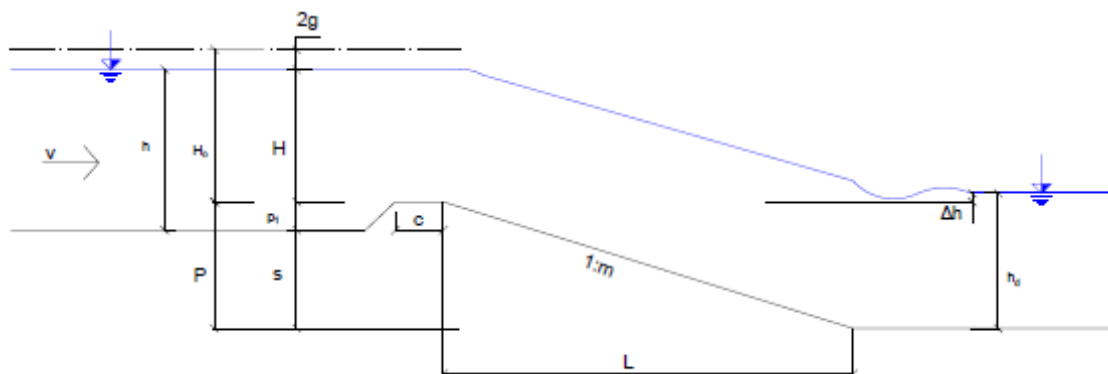
Posouzení stability bylo popsáno v příloze P.12 - Výpočet stability. Dno koryta bylo posuzováno pro  $Q_1 = 24,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , pata svahu na  $Q_5 = 67,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a svah na průtok  $Q_{20} = 126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Z výpočtu je zřejmé, že dochází k vymílání v patě svahu v hloubce 0,47 m a je nutné navrhnout opevnění svahu do výšky 1,82 m.

## 7.5 Návrh balvanitého skluzu

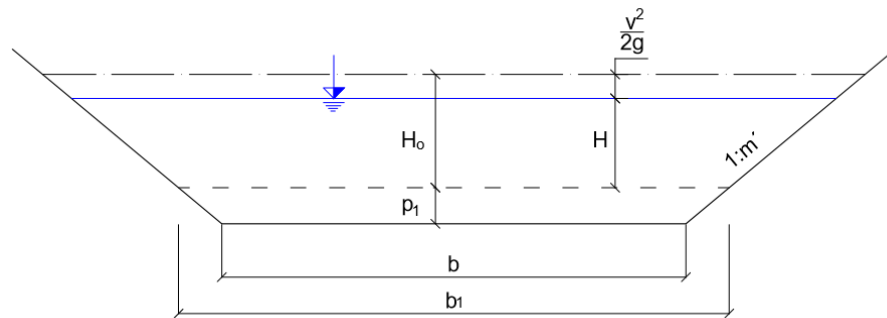
Cílem diplomové práce byl mimo jiné návrh rekonstrukce jezu na ř. km 78,340. Stávající jez byl vybudován v minulém století za účelem vzduť vody, která byla potřeba pro odběr vody do náhonu na MVE. Jak již bylo výše zmíněno, elektrárna bude zrušena a náhon zachován, proto není nadále nutné v místě vzdouvat vodu. Aby byl snížen výškový rozdíl ve dně a zároveň došlo k relativně přírodě blízkému opatření, byl zvolen místo jezu návrh balvanitého skluzu.

Výpočet vychází z literatury Balvanité skluzu, Ing. Zdeněk Zástěra a kol. [3]. Ve výpočtu se nachází několik součinitelů, které je možné dohledat ve zmíněné literatuře (obr. 26 a 27).

### 7.5.1 Výpočtové schéma balvanitého skluzu



Obr. 26. - Výpočtové schéma, řez 1



**Obr. 27.** - Výpočtové schéma, řez 2

### 7.5.2 Výpočtové parametry

Parametry pro výpočet jsou následující:

Návrhový průtok $Q_N$ :	$Q_N = 106 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Výška skluzu:	$P = 1,7 \text{ m}$
Sklon skluzové plochy:	$m = 1:10$
Délka skluzu:	$L = 17 \text{ m}$
Hloubka vody při $Q_N$ :	$h = 2,14 \text{ m}$

### 7.5.3 Výpočet kapacity lichoběžníkového přepadu

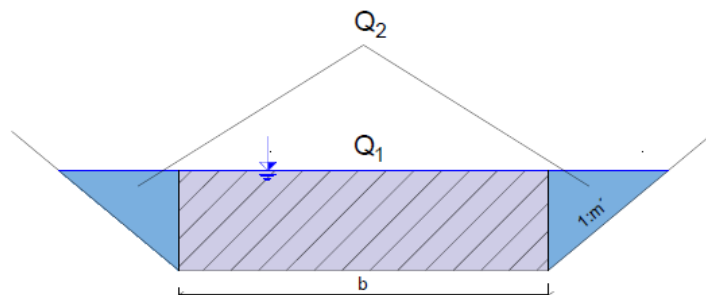
$$Q = Q_1 + Q_2$$

kde:

$Q_1$ ...určuje přepadové množství vody nad přepadovou hranou,

$Q_2$ ...určuje přepadové množství nad skloněnými bočními plochami.

Pro navrhovaný balvanitý skluz je počítáno pouze s  $Q_1$ , protože po obou stranách skluzů se nachází zdi a nevzniká přepadové množství nad skloněnými plochami (obr. 28).



**Obr. 28.** - Určení přepadového množství

$$Q = \sigma \cdot A \cdot K \cdot M \cdot b_1 \cdot H_0^{3/2} + \sigma' \cdot \frac{4}{5} \cdot M' \cdot m' \cdot H_0^{5/2}$$

$\sigma, \sigma' = 1 \dots$  součinitel zatopení

$M = 1,74 \dots$  součinitel přepadu nad vodorovnou částí přepadu

$M' = 1,68 \dots$  součinitel přepadu nad skloněnými bočními plochami

$K = 1 \dots$  součinitel bočního zúžení pilířem pro lichoběžníkový přepad

$A = 1 \dots$  součinitel půdorysného uspořádání koruny přelivu orientací k toku

Ověření kapacity přelivu:

$$H_0 = h + \frac{\alpha \cdot v^2}{2g} = 1,64 + \frac{1,1 \cdot 2,86^2}{2 \cdot 9,81} = 2,06 \text{ m}$$

$$Q = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,74 \cdot 21,2 \cdot 2,06^{\frac{3}{2}} = 109,13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Výpočet kapacity přelivu ověřil, že balvanitý skluz je dostatečně kapacitní pro převedení návrhového průtoku  $Q_N = 106 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### 7.5.4 Návrhové parametry

Dále bylo přistoupeno k výpočtu energetické výšky a vymílací rychlosti. Návrhové parametry jsou následující:

Šířka přelivné hrany:	$b = 21,2 \text{ m}$
Výška skluzu:	$P = 1,7 \text{ m}$
Velikost kamene:	$D = 1,0 \text{ m}$
Sklon skluzu:	$1:10$
Součinitel vlivu sklonu na stabilitu kamene:	$C_s = 0,885$
Rychlostní součinitel balvanitého skluzu:	$\varphi = 0,795$
Hmotnost kamene:	$m = 360 \text{ kg}$
Specifický průtok:	$q = 5,15 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Rychlost na skluzové ploše:	$v_1 = 6,03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

### Výpočet energetické výšky

Stanovení specifického průtoku:

$$q = \frac{Q_1}{b_1} = \frac{109,13}{21,2} = 5,15 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Stanovení kritické hloubky:

$$\alpha = 1$$

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 5,15^2}{9,81}} = 1,39 \text{ m}$$

Pro bezpečnost výpočtu je zaveden předpoklad:  $H_o = 3/2 \cdot h_k$

$$E = P + H_o = 1,7 + 3/2 \cdot 1,39 = 3,79 \text{ m}$$

První vzájemná hloubka vodního skoku  $h_1$  je určena iteračně a následně se vypočítává rychlost proudění.

$$h_1 = \frac{q}{\varphi \cdot \sqrt{2g \cdot (E - h_1)}}$$

$$h_1^0 = 0$$

$$h_1^1 = \frac{q}{\varphi \cdot \sqrt{2g \cdot E}} = \frac{5,15}{0,795 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3,79}} = 0,7507 \text{ m}$$

$$h_1^2 = \frac{q}{\varphi \cdot \sqrt{2g \cdot (E - h_1^1)}} = \frac{5,15}{0,795 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (3,79 - 0,7507)}} = 0,83832 \text{ m}$$

$$h_1^6 = 0,8528 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,85 \text{ m}$$

$$v_1 = \frac{q}{h_1} = \frac{5,12}{0,85} = 6,03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

### Výpočet vymílací rychlosti

$$v_{vs} = 6,8 \cdot D^{1/3} \cdot h_1^{1/6} \cdot C_s^{1/2} = 6,8 \cdot 1^{1/3} \cdot 0,85^{1/6} \cdot 0,885^{1/2} = 6,23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

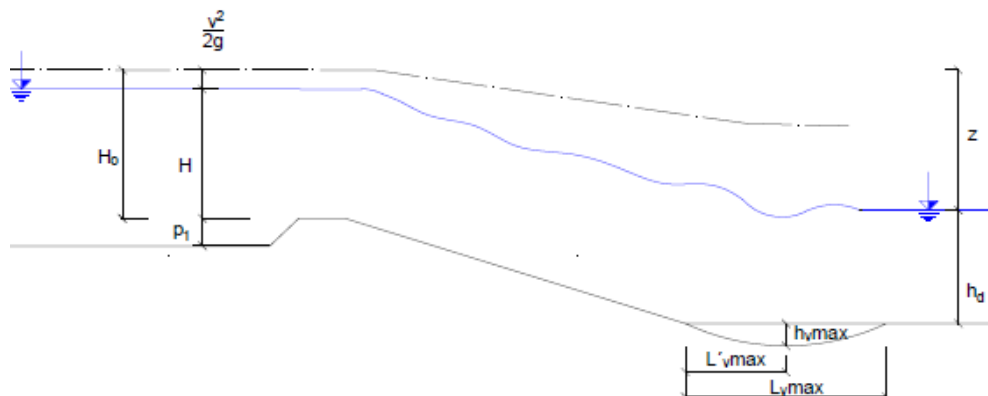
$$v_{vs} > v_1$$

$$6,23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} > 6,03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pro největší rozměr průměrného navrženého balvanu  $D = 1 \text{ m}$  o průměrné hmotnosti  $360 \text{ kg}$  byla stanovena vymílací rychlost  $v_{vs} = 6,23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Rychlost splňuje podmínku a je větší než rychlost proudění na skluzové ploše  $v_1 = 6,03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Podmínka odolnosti proti porušení skluzu vymíláním byla splněna.

### Stanovení velikosti výmolu pod skluzem

Dále byl proveden výpočet výmolu pod skluzem. Schéma pro výpočet je uvedeno na obr. 29.



**Obr. 29.** - Schéma pro stanovení výmolu pod skluzem

### Vztah pro výpočet hloubky výmolu:

$$h_{vmax} = \frac{w \cdot z^{1/2} \cdot q^{3/5}}{d_{90}^{2/5}}$$

$$d_{90} = 98 \text{ mm}$$

$$z = E - h_d = 3,79 - 2,14 = 1,65 \text{ m}$$

$$h_{vmax} = \frac{0,45 \cdot 1,65^{1/2} \cdot 5,15^{3/5}}{98^{2/5}} = 0,25 \text{ m}$$

**Výpočet délky výmolu:**

Celková délka výmolu

$$L_{vmax} = 23 \cdot h_{vmax} = 23 \cdot 0,25 = 5,67 \text{ m}$$

Vzdálenost místa největšího výmolu od paty skluzu

$$L'_{vmax} = 7,5 \cdot h_{vmax} = 7,5 \cdot 0,25 = 1,85 \text{ m}$$

Předpokládá se tvorba výmolu za balvanitým skluzem v délce 5,7 m a maximální hloubce 0,25 m ve vzdálenosti 1,85 od paty objektu. Za skluzem je navrhnutý kamenný zához, který zabrání vymílání.

Na základě vypočtených parametrů byl balvanitý skluz narýsován a vložen do programu HEC – RAS včetně navržených úprav koryta pro ověření kapacity nově navrženého stavu.

**7.6 Nový stav – průběh hladiny**

Byla provedena úprava koryta dle vypracovaných vzorových příčných řezů (Příloha P.5 – Vzorové příčné řezy) v celé délce. Výpočet stability na základě kterého bylo navrženo opevnění, se nachází v příloze P.12 – Výpočet stability. Dále byl proveden návrh balvanitého skluzu dle výpočtů uvedených v kapitole 5.5 Návrh balvanitého skluzu.

Nově navržené koryto bylo vloženo do programu HEC – RAS včetně navrhovaného balvanitého skluzu. Do programu bylo celkem vloženo 66 příčných profilů, 3 mosty a 1 balvanitý skluz. Nově navržené koryto je dostatečně kapacitní pro  $Q_N = 126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a pro  $Q_N = 106 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ve střední části řešeného úseku. Výstup z programu s informacemi průběhu hladin je upraven do tabulky v příloze P.13 – Výstup z programu HEC – RAS – Kapacita nového koryta.

**7.7 Balvanitý skluz – popis navržené konstrukce**

Návrh balvanitého skluzu byl předložen jako návrh rekonstrukce stávajícího jezu, který se nachází na ř. km 78,340, ve snaze najít řešení přírodě blízké. S rušením jezu bude zrušena i šterková propust. Na pravé straně skluzu je navržena vodácká propust.

Pro lepší migraci vodních živočichů bylo navrženo snížení přepadové hrany, které je situováno v ose balvanitého skluzu. Řešení bylo navrženo z důvodu nevyhovujícího sklonu skluzu pro rybí obsádku nacházející se v řešené lokalitě Opavy. Ryby lososových vod, pásma parmového jsou schopny překonávat sklon maximálně 1:15.



Pro výstavbu balvanitého skluzu dojde ke zbourání stávajícího lomeného jezu a šterkové propusti v jeho levé části. Levobřežní zeď tvořící vtok do náhonu je ponechána, ale bylo by vhodné se dále zabývat možnou sanací betonu pro zlepšení jeho kvality a odolnosti povětrnostním vlivům. Pravobřežní zeď je od vodácké propusti, zeď je široká 0,5 m. Podél propusti vede železobetonová opěrná zeď šířky 0,7 m. Před vodáckou propustí jsou navrženy schody z dřevěných kulatin o průměru 0,2 m a šířkou 7 m pro snazší přístup vodáků k vodě.

Výkresy balvanitého skluzu a vodácké propusti se nacházejí v příloze P.3 – Řezy balvanitým skluzem.

#### **7.7.1 Koruna přelivu**

Provedení koruny přelivu je navrženo jako patka z balvanů o průměru 1 m. Balvany jsou uloženy metodou na štět a prolity vodostavebním betonem třídy C 30/37, XF4.

#### **7.7.2 Skluzová konstrukce**

Pro vytvoření skluzové konstrukce byly použity balvany o maximální velikosti 1 m a uloženy na štět. Vzniklé mezery mezi nimi jsou vyklínovány kameny menší frakce. Sklon skluzové plochy je ve sklonu 1:10.

Balvany a menší kameny pro skluz byly využity ze záhozu, který byl za původní jezovou konstrukcí, anebo byly dovezeny z nedalekého okolí. Nejbližší dohledaný lom – *Kamenolom Kobylí* se nachází v obci Krásné Loučky, která je vzdálená cca 12 km od obce Brantice.

#### **7.7.3 Dno a podloží skluzu**

Dno pod skluzem bylo opatřeno opevněním v délce 4,5 m. Opevnění je vytvořeno z balvanů uložených na štět o velikosti cca 0,6 m, mezery balvanů budou vyklínovány.

Z důvodu nedostatku informací o podloží pod navrhovaným skluzem byl navrhnut filtr, který zabrání deformacím v podzákladí skluzu. Filtr se skládá ze dvou frakcí kameniva a je umístěn na očištěnou základovou spáru. Spodní vrstva sloužící jako vrstva vyrovnávací je šterk s frakcí 2 – 63 mm v minimální tloušťce 0,3 m. Následuje vrstva kameniva frakce 63 – 400 mm v tloušťce 0,2 – 0,5 m. Na tuto vrstvu jsou metodou na štět umístěny balvany s vyklínováním.

#### 7.7.4 Snížení přepadové hrany

Snížení přepadové hrany o cca 0,5 m je navrženo v ose balvanitého skluzu a tvoří tak rybí přechod. Přechod je navržen schodovitěho tvaru o šířce 3 m. Jednotlivé schody jsou vyspádovány ve sklonu 1:15 a mají délku 2,12 m. V osově vzdálenost 2,12 m je vždy umístěna řada balvanů o velikosti cca 0,8 m. Kameny tvořící rybí přechod jsou umístěny do betonového lože v minimální tloušťce 0,3 m. Byl použit vodostavební beton třídy C 30/37, XF 4.

### 7.8 Vodácká propust

Na pravé straně balvanitého skluzu byla navržena vodácká propust pro snazší splavnost řeky Opavy. Propust je provedena jako železobetonový žlab s šířkou 2 m. Stěny jsou široké 0,5 m. Délka propusti je 20,5 m, vtokový práh je umístěn ve výšce 344,15 m n. m. a výtokový 342,60 m n. m. Sklon propusti je 1:15. Na vodáckou propust je ukotvena železobetonová zeď o šířce 0,7 m. Pod propustí a zdí je podkladní beton v tloušťce 0,1 m.

## 8. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zpracování návrhu protipovodňové ochrany pro obec Brantice. Součástí PPO byl proveden návrh úpravy koryta řeky Opavy a rekonstrukce stávajícího pevného jezu.

Vypracování návrhu PPO bylo provedeno, v rámci možností, které byly k dispozici, jako přírodě blízké opatření. Nově navržené koryto bylo rozděleno do horní, střední, dolní části a náhonu. V horní a dolní části řešeného úseku bylo koryto navržené jako složené lichoběžníkové se stěhovavou kynetou s kapacitou  $Q_N = Q_{20} = 126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Pro střední část byla zvolena úprava koryta do jednoduchého lichoběžníkové tvaru s kapacitou  $Q_N = 106 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Důvodem jsou nedostačující prostorové možnosti, protože úsek se nachází v intravilánu obce. Dále se na řešeném úseku nachází náhon na MVE. V rámci práce bylo uvažováno se zachováním náhonu a zrušení MVE. Důvodem zachování náhonu bylo jeho využití pro odlehčení povodňových průtoků střední části řešeného úseku. Vypočítaná kapacita koryta náhonu je  $Q_{\text{kap}} = 20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Tato koncepce umožňuje úpravu koryta střední části úseku s přihlédnutím k původnímu tvaru a nevznikla tak nutnost navrhovat např. protipovodňové zdi. V celém řešeném úseku byly použity přírodní materiály. Kameny na balvanitý skluz byly získány z původního koryta a nedaleko se nacházejícího lomu. Pro hrázky a dosypávání bylo využito materiálu vytěženého ze dna toku. Stromy podél řešeného úseku nebyly zaměřeny (zaměřeno pouze 5 stromů), v rámci úpravy dojde k vykácení několika desítek stromů, které budou nahrazeny stejnými či podobnými druhy. Vysazení stromů a doprovodného keřového porostu musí být provedeno tak, aby nedocházelo k negativním účinku, které by ovlivňovaly hydraulické vlastnosti toku.

Při řešení rekonstrukce stávajícího pevného jezu byl navrhnut balvanitý skluz. Šířka přelivné hrany balvanitého skluzu je 21,2 m a sklon skluzové konstrukce byl navrhnut 1:10. Provedení uložení balvanů na skluzu bylo navrženo metodou na šět. V ose balvanitého skluzu bylo umístěno snížení přepadové hrany v šířce 3 m, pro zlepšení migrační průchodnosti vodních živočichů. Ke zlepšení sjízdnosti řeky Opavy byla navržena vodácká propust na pravém břehu. Propust byla navržena v šířce 2 m a sklonu 1:15.

Textová část diplomové práce se věnuje obecnému popisu balvanitých skluzů, jejich řešení, postupu návrhu a výpočtu. Dále bylo popsáno řešené území a k němu vztahující se informace. V praktické části, byla po terénní obchůzce provedena fotodokumentace a podrobný popis řešeného úseku toku. Následovalo vytvoření příčných řezů z geodetického zaměření, zjištění kapacity stávajícího koryta, návrh úpravy koryta, ověření kapacity nově navrženého koryta, posouzení stability navrženého koryta a výpočet balvanitého skluzu včetně návrhu parametrů a výpočtu kapacity.

Výpočet kapacity původního i nově navrženého koryta byl proveden pomocí programu HEC – RAS 4.1.0, ostatní výpočty byly provedeny v programu MS Excel.

Úskalím při řešení návrhu PPO byla absence geodetického zaměření náhonu na MVE a samotného objektu elektrárny. K dispozici bylo zaměření pouze na vtoku do náhonu (cca 20 m) a v místě soutoku s řekou Opavou (cca 15 m). Z důvodu nepřístupnosti velké části náhonu nebyla ani možná dostatečná terénní obhlídka. Pro ověření kapacity koryta náhonu byly do programu HEC – RAS vloženy příčné profily zaměřené na začátku a na konci náhonu. Mezi těmito známými profily bylo využito funkce programu pro tvorbu interpolovaných příčných profilů. Dále byl zaveden obecný předpoklad, že sklon dna před elektrárnou je větší a za elektrárnou je již sklon mírný. Pokud by se tento předpoklad potvrdil, je nutné provést urovnání dna do jednotného sklonu.

V Brně 11. ledna 2019

.....  
Bc. Zahradníková Lenka

## 9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VÝBORA, Pavel, Milan RAPLÍK a Karel MAREŠ. *Úprava tokov.* 1. Bratislava: Alfa, 1989. Edícia stavebníckej literatúry. ISBN 80-050-0128-2.
- [2] ŘÍHA A KOL., Jaromír, Miloslav ŠLEZINGER a Hana UHMANNOVÁ. *VYBRANÉ STATI Z HYDROTECHNIKY: ÚPRAVY TOKŮ A OBJEKTY NA VODNÍCH TOCÍCH.* MODUL I. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ, 2007.
- [3] ZÁSTĚRA A KOLEKTIV, Ing. Zdeněk. *Balvanité skluzy.* Brno: Hydroprojekt Brno, 1984.
- [4] *Brantice Povodňový plán obce: Hydrologické údaje* [online]. Brantice: EDPP.CZ, 2010 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: [https://www.edpp.cz/bra\\_hydrologicke-udaje/](https://www.edpp.cz/bra_hydrologicke-udaje/)
- [5] *Vodní hospodářství a ochrana vod* [online]. VÚV TGM [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: [https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp\\_heis\\_voda&TMPL=MAPWND\\_MAIN](https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=MAPWND_MAIN)
- [6] Mapy.cz [online]. Seznam.cz, 2018 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.4643002&y=48.9224014&z=11>
- [7] *Atlas hlavních vodních toků povodí Odry* [online]. Ostrava: www.pod.cz, 2016 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: [https://www.pod.cz/atlas\\_toku/opava.html](https://www.pod.cz/atlas_toku/opava.html)
- [8] *Plán oblasti povodí Odry* [online]. Povodí Odry, státní podnik, 2007 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <https://www.pod.cz/plan-oblasti-povodi-Odry/a-popis/a-1.html>
- [9] ČERPACÍ STANICE PHM BRANTICE: C.II.4. *Geofaktory životního prostředí* [online]. Opava: Ing. Pavla Žídková, osvědčení č.j. 4094/435/OPVŽP/95, 2005 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: [http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX01TSzE5N19vem5hbWVuaURPQ18xLmRvYw/MSK197\\_oznameni.doc](http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX01TSzE5N19vem5hbWVuaURPQ18xLmRvYw/MSK197_oznameni.doc)
- [10] *OPATŘENÍ NA HORNÍ OPAVĚ SE ZAMĚŘENÍM NA PŘÍRODĚ BLÍZKÁ OPATŘENÍ* [online]. Povodí Odry, státní podnik, 2014 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <https://www.pod.cz/OhO/>
- [11] *POVODÍ ODRY, OPAVY A ÚZEMÍ POVODÍ HORNÍ OPAVY* [online]. Povodí Odry, státní podnik, 2014 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: [https://www.pod.cz/OhO/pages\\_cz/a21.html](https://www.pod.cz/OhO/pages_cz/a21.html)
- [12] *VÝBĚR KONCEPCE OCHRANY* [online]. Povodí Odry, státní podnik, 2014 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: [https://www.pod.cz/OhO/pages\\_cz/a25.html](https://www.pod.cz/OhO/pages_cz/a25.html)
- [13] *O přehradě* [online]. Povodí Odry, státní podnik, 2018 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <http://prehradanoveherminovy.cz/o-prehrade/>
- [14] *FUNKCE SOUBORU OPATŘENÍ* [online]. Povodí Odry, státní podnik, 2014 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: [https://www.pod.cz/OhO/pages\\_cz/a31.html](https://www.pod.cz/OhO/pages_cz/a31.html)

- [15] Velička, km 20,360-23,444 - revitalizace toku. DotaceEU.cz [online]. Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, všechna práva vyhrazena, 2018 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: <https://www.dotaceeu.cz/cs/Informace-o-cerpani/Mapa-projektu/Projekty/2-OP-Zivotni-prostredi/2-6-Zlepsovani-stavu-prirody-a-krajiny/Velicka,-km-20,360-23,444-revitalizace-toku>
- [16] TNV 75 2321: Zprůchodňování migračních bariér rybími přechody. Praha, 2011
- [17] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. Hydraulika. Modul 01. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- [18] JANDORA, Jan a Hana UHMANNOVÁ. *Proudění v systémech říčních koryt*. Modul 01. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- [19] MOŠČAKOVÁ, Ing. Markéta, Ing. Tomáš OHERA a Ing. Zbyněk ZACHOVAL, PH.D. *Opatření na horní Opavě - návrh prostoru pro ukládání splavenin pod vodním dílem Nové Heřminovy*, 7.



# 10. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## 10.1 Symboly

$\sigma, \sigma'$	[-]	součinitel zatopení
$A$	[-]	součinitel půdorysného uspořádání koruny přelivu
$K$	[-]	součinitel bočního zúžení přelivného otvoru ovlivněný tvarem pilířů
$M$	[-]	součinitel přepadu
$ho, ho$	[m]	přepadová + rychlostní
$v_l$	[m.s <sup>-1</sup> ]	rychlostní proudění v přítokové trati
$M'$	[m]	součinitel přepadu na skloněnými bočními plochami
$m'$	[-]	$\cotg \alpha$ (sklon svahů v šikmé části)
$v_s$	[m.s <sup>-1</sup> ]	střední profilová rychlost na skluzu
$v_{vs}$	[m.s <sup>-1</sup> ]	vymílací rychlost na skluzu dovolená pro daný kámen, hloubku a sklon
$D$	[m]	největší rozměr kamene
$h$	[m]	hloubka vody na skluzu v metrech v nejnamáhavějším profilu
$C_s$	[-]	součinitel vlivu sklonu na skluzu kamene
$\varphi$	[-]	úhel vnitřního tření balvanitého materiálu ve vodě
$\alpha$	[-]	sklon skluzové plochy
$d_{90}$	[m]	průměr zrna odpovídající 10 % váhovému zbytku zrn na sítích
$d_e$	[m]	průměr efektivního zrna
$C_u$	[-]	číslo nestejnozrnatosti
$P$	[-]	pórovitost zeminy
$i_{krit}$	[-]	kritický hydraulický sklon
$\mu$	[-]	součinitel bezpečnosti
$k$	[cm.s <sup>-1</sup> ]	součinitel filtrace zeminy
$g$	[m.s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení
$\vartheta$	[cm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	součinitel kinematické viskozity vody
$i_{0j}$	[-]	průměrný podélný sklon koryta daného úseku

$\Delta L_j$	[m]	délka úseku
$\alpha$	[-]	Coriolisovo číslo
$h_i, h_{i+1}$	[m]	hloubka vody v daném profilu
$v_i, v_{i+1}$	[m.s <sup>-1</sup> ]	průměrná rychlost v daném profilu
$h_{zj}$	[m]	celková ztráta energie v daném úseku
$h_{mj}$	[m]	místní ztráty
$h_{tj}$	[m]	ztráty třením po délce
$\xi$	[-]	součinitel místní ztráty.
$i_{pj}$	[-]	průměrný sklon čáry energie
$Q$	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	průtok
$S_{pj}$	[m <sup>2</sup> ]	průměrná hodnota průtočné plochy mezi profily
$C_{pj}$	[m <sup>0.5</sup> .s <sup>-1</sup> ]	průměrná hodnota Chézyho rychlostního součinitele mezi profily
$R_{pj}$	[m]	průměrná hodnota hydraulického poloměru mezi profily
$h_h$	[m]	hloubka horní vody
$h_d$	[m]	hloubka dolní vody
$q$	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	specifický průtok
$E$	[m]	energetická výška
$h_{vmax}$	[m]	hloubka výmolu
$L_{vmax}$	[m]	celková délka výmolu
$L'_{vmax}$	[m]	vzdálenost výmolu od paty svahu

## 10.2 Zkratky

1D	jednorozměrný
2D	dvourozměrný
HEC-RAS	The Hydrologic Engineering Center's River Analysis System
$Q_N$	návrhový průtok
s.p.	státní podnik
ř.km	říční kilometr
OHO	Opatření na horní Opavě
PPO	Protipovodňová ochrana

## 11. SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obr. 1. -</b>	První varianta skluzu [2] .....	4
<b>Obr. 2. -</b>	Druhá varianta skluzu [2] .....	5
<b>Obr. 3. -</b>	Třetí varianta skluzu [2] .....	5
<b>Obr. 4. -</b>	Schéma koryta [2] .....	6
<b>Obr. 5. -</b>	– Mapa hydrologického pořadí s vyznačeným zájmovým územím [5] ..	9
<b>Obr. 6. -</b>	Mapa s vyznačením soutoku Opavy .....	10
<b>Obr. 7. -</b>	Oblast povodí Odry [8] .....	11
<b>Obr. 8. -</b>	Geologie povodí Odry [8] .....	12
<b>Obr. 9. -</b>	Průměry ročního úhrnu na území povodí Odry [8] .....	13
<b>Obr. 10. -</b>	Hydrogeologické poměry povodí Odry [8] .....	15
<b>Obr. 11. -</b>	CHKO na území povodí Odry [8] .....	16
<b>Obr. 12. -</b>	Vymezení rybích pásem [5] .....	17
<b>Obr. 13. -</b>	Mapa s vyznačením Povodí horní Opavy [11] .....	18
<b>Obr. 14. -</b>	Model nově navrhnuté nádrže Nové Heřminovy [13] .....	20
<b>Obr. 15. -</b>	Mapa s vyznačením řešeného úseku [6] .....	21
<b>Obr. 16. -</b>	Pohled z pravého břehu na jez (ř. km 78,340) .....	22
<b>Obr. 17. -</b>	Pohled proti směru proudu na jez .....	22
<b>Obr. 18. -</b>	Pohled po směru proudu z nadjezí na jez a silniční most .....	23
<b>Obr. 19. -</b>	Objekt MVE .....	23
<b>Obr. 20. -</b>	Lomený betonový jez, ř. km 78,340 .....	24
<b>Obr. 21. -</b>	Rozdělení řešené lokality .....	25
<b>Obr. 22. -</b>	Balvanitý skluz s rybím přechodem, řeka Velička [15] .....	27
<b>Obr. 23. -</b>	Schéma výpočtu nerovnoměrného proudění [18] .....	29
<b>Obr. 24. -</b>	Směr výpočtu [18] .....	31
<b>Obr. 25. -</b>	Podélný profil z programu HEC-RAS pro $Q = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .....	32
<b>Obr. 26. -</b>	Výpočtové schéma, řez 1 .....	33
<b>Obr. 27. -</b>	Výpočtové schéma, řez 2 .....	34
<b>Obr. 28. -</b>	Určení přepadového množství .....	34
<b>Obr. 29. -</b>	Schéma pro stanovení výmolu pod skluzem .....	37

## SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1 - Součinitel $C_s$ .....	7
Tab. 5.1 – M-denní průtoky pro řeku Opavu, profil Pod Zátoráčkem .....	14
Tab. 5.2 – N-leté průtoky pro řeku Opavu, profil pod Zátoráčkem .....	14
Tab. 5.3 – M-denní průtoky pro řeku Opavu, profil Pod Krasovkou.....	14
Tab. 5.4 – N-leté průtoky pro řeku Opavu, profil pod Krasovkou.....	15

## 13. SEZNAM PŘÍLOH

### 13.1 Výkresy

P.1	Situace	M 1:1000
P.2	Podélný profil toku	M 1:1000/100
P.3	Řezy balvanitým skluzem A–A', B–B', C–C'	M 1:100
P.4	Půdorys balvanitého skluzu	M 1:100
P.5	Vzorové příčné řezy	M 1 :100
P.6	Příčné řezy 1	M 1:150
P.7	Příčné řezy 2	M 1:150
P.8	Příčné řezy 3	M 1:150
P.9	Příčné řezy 4	M 1:150
P.10	Příčné řezy 5	M 1:150

### 13.2 Výpočty

P.11	Výstup z programu HEC – RAS – Kapacita původního koryta
P.12	Výpočet stability
P.13	Výstup z programu HEC – RAS – Kapacita nového koryta
P.14	Fotodokumentace



## PŘÍLOHA P.11

### P.11 Výstup z programu HEC – RAS – Kapacita původního koryta

Výstupní tabulka:

Staničení	Kóta dna	Hladina	Kóta levého břehu	Kóta pravého břehu
[km]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
78.7024	345.73	347.6	347.8	347.78
78.6944	345.84	347.6	347.5	348
78.6744	346.01	347.54	347.41	347.29
78.6524	345.71	347.49	347.76	347.87
78.6404	345.5	347.4	347.67	347.66
78.6244	345.4	347.41	347.5	347.4
78.6004	345.41	347.36	347.66	347.53
78.5824	345.57	347.3	347.26	347.63
78.5584	345.15	347.23	347.1	347.62
78.5384	345.25	347.19	347	347.04
78.5084	344.87	347.15	346.9	347.75
78.4894	345.22	347	346.88	347.4
78.4754	344.63	346.99	346.93	347.57
78.4544	345.06	346.96	346.82	347.45
78.4374	345.17	346.83	347.09	347.5
78.4144	345.16	346.71	347	347.62
78.3964	345.11	346.62	346.45	347.97
78.3764	345.04	346.35	346.59	347.84
78.3514	344.46	346.39	347.01	347.86
78.3432	344.8	346.37	346.59	347.86
78.3294	342.73	345.08	346.15	347.18
78.3244	342.73	345.08	346.15	347.18
78.3114	343	345.05	345.96	345.54
78.2984	343.69	345	345.83	346.93
78.28845	343.55	344.92	346.15	347.18
78.28235	343.55	344.86	346.15	347.18
78.2764	343.1	344.85	345.64	346.8
78.2634	343.14	344.78	345.35	346.56
78.2534	342.99	344.79	345.91	346.66
78.2324	342.89	344.65	345.14	345.95
78.2164	342.71	344.6	345.42	345.83
78.2024	342.61	344.56	345.98	345.95
78.1884	342.41	344.53	346.4	345.97
78.186	342.43	344.52	345.69	345.66
78.1774	342.48	344.51	345.93	345.53
78.1664	342.37	344.45	346.2	345.17

Staničení	Kóta dna	Hladina	Kóta levého břehu	Kóta pravého břehu
[km]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
78.1574	342.19	344.43	345.74	345.37
78.1424	342.08	344.4	345.88	345.22
78.1324	342.38	344.29	345.01	345.1
78.1184	342.09	344.27	344.44	344.77
78.0994	341.94	344.24	344.6	345.27
78.0804	341.87	344.11	344.87	345.1
78.0594	342.1	344.06	344.72	344.94
78.0464	341.84	343.99	344.84	344.96
78.0364	341.65	343.95	345.08	344.92
78.0254	341.45	343.94	344.49	344.89
78.0164	341.51	343.94	344.08	344.85
78.0024	341.65	343.91	344.06	344.51
77.9904	341.56	343.88	344.12	344.13
77.9694	341.59	343.4	344.35	344.3
77.9574	341.63	343.43	343.55	344.03
77.9364	341.58	342.9	344.36	343.87
77.9254	341.27	342.93	343.22	343.77
77.9164	341.07	342.96	344.08	343.71
77.9064	340.93	342.87	343.52	343.5
77.8954	341.23	342.84	343.14	343.63
77.8864	341.06	342.76	343.1	342.72
77.8854	341.06	342.76	346.09	342.72
77.8764	341.17	342.67	346.09	343.63
77.8754	341.17	342.67	343.22	343.63
77.8654	341.16	342.63	344.06	344.99
77.8504	341.14	342.55	343.81	344.3
77.8424	341.05	342.51	343.44	343.88
77.8314	340.95	342.45	342.36	343.99
77.8084	340.42	342.4	342.3	343.84
77.7954	339.92	342.41	343.2	342.7
77.7754	340.59	342.36	342.5	342.61
77.7514	340.71	342.27	342.64	343.99
77.7324	340.69	342.2	343.12	342.5
77.7094	340.16	342.15	343.4	343.89
77.6834	340.42	342.05	342.91	343.9
77.6554	340.3	341.9	342.72	343.8

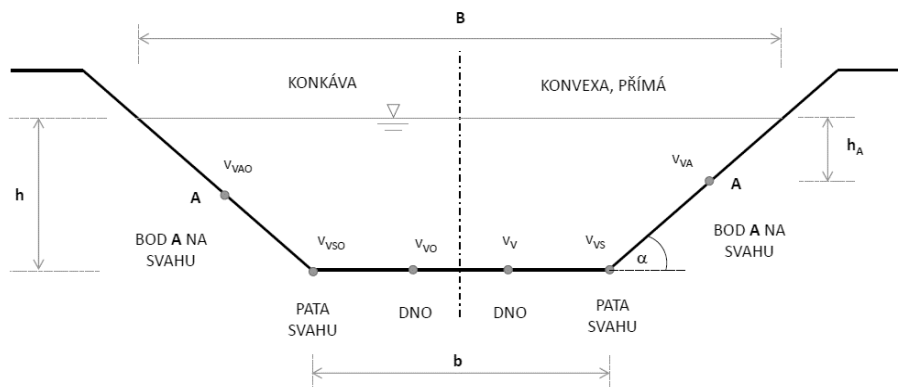
Kapacita koryta náhonu:

Staničení	Kóta dna	Hladina	Kóta pravého břehu	Kóta levého břehu
[km]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
0.31825	344.29	346.05	346.58	346.61
0.29772	344.1	345.98	345.91	346.9
0.28137	344.44	345.61	346.04	347.09
0.25781	343.73	345.16	346.14	347.27
0.200346	343.2	344.46	345.7	346.59
0.2	341.5	344.11	344	344.89
0.0088	341	344.05	344.25	344.32
0	341.23	344.04	343.85	344.05

## PŘÍLOHA P.12

### P.12 Výpočet stability

Schéma pro výpočet:



Vstupní parametry:

$d_{ef}$	45	mm
$m$	2	
$\alpha$	27	°
$\psi$	40	°

		$Q [m^3 \cdot s^{-1}]$	$h [m]$	$B [m]$	$C$	$v [m \cdot s^{-1}]$	$v_v [m \cdot s^{-1}]$
pro dno	$Q_1$	24.2	0.9	16.62	30.80	1.81	1.82
pro patu	$Q_5$	67.4	1.65	19.61	32.93	2.50	1.95
pro svah	$Q_{20}$	126	2.36	22.45	33.81	3.01	2.02

### VÝPOČET:

#### 1. Posouzení dna ( $Q_1$ )

	$Q [m^3 \cdot s^{-1}]$	$v [m \cdot s^{-1}]$	$v_v [m \cdot s^{-1}]$
$Q_1$	24.2	1.81	1.82

$v [m \cdot s^{-1}]$	<	$v_v [m \cdot s^{-1}]$
<b>1.81</b>	<	<b>1.82</b>

**STABILNÍ**

Použité vzorce:

$$v_v = C \cdot \sqrt{0,047 \cdot 1,65 \cdot d_e} \quad (\text{vymílací rychlost ve dně})$$

## 2. Posouzení paty svahu (Q<sub>5</sub>)

	Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	h [m]	v [m.s <sup>-1</sup> ]	v <sub>v</sub> [m.s <sup>-1</sup> ]
Q <sub>5</sub>	67.4	1.65	2.50	1.95

k <sub>3</sub>	0.8414	
v <sub>vs</sub>	1.64	m.s <sup>-1</sup>

v	<	v <sub>vs</sub>
<b>2.50</b>	<b>&gt;</b>	<b>1.64</b>

**NESTABILNÍ**

Hloubka výmolu:

<b>Δh</b>	<b>0.473</b>	<b>m</b>
-----------	--------------	----------

Použité vzorce:

$$k_3 = \sqrt[4]{\cos^2 \alpha - \frac{\sin^2 \alpha}{tg^2 \varphi}}$$

$$v_{vs} = v_v \cdot k_3$$

$$\Delta h = h \cdot \left( \frac{v}{v_v} - 1 \right)$$

## 3. Posouzení svahu (Q<sub>20</sub>)

	Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	h [m]	v [m.s <sup>-1</sup> ]	v <sub>v</sub> [m.s <sup>-1</sup> ]
Q <sub>20</sub>	126	2.36	3.01	2.02

k <sub>3</sub>	0.8414	
Δ	0.3	m

h <sub>A</sub>	0.7516	
v <sub>VA</sub>	3.01	
h <sub>s</sub>	0.75	m

Výška opevnění svahu

<b>h<sub>op</sub></b>	<b>1.819</b>	<b>m</b>
-----------------------	--------------	----------

Vzorce:

$$k_3 = \sqrt[4]{\cos^2 \alpha - \frac{\sin^2 \alpha}{\operatorname{tg}^2 \phi}}$$

$$v_{VA} = v_V * k_3 * \left(\frac{h}{h_A}\right)^{0,5}$$

$$h_{OP} = (h - h_s) + \Delta$$

Výsledná tabulka:

		<b>výpočet</b>	<b>návrh</b>	<b>výpočet</b>	<b>návrh</b>
dno	pata svahu	hloubka výmolu $\Delta h$ [m]	hloubky opevnění paty svahu [m]	výška opevnění svahu $h_{OP}$ [m]	výška opevnění svahu $h_{OP}$ [m]
STABILNÍ	NESTABILNÍ	0.473	0.50	1.819	1.82



## PŘÍLOHA P.13

### P.13 Výstup z programu HEC – RAS – Kapacita nového koryta

1.  $Q_N = Q_{20} = 126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

2.  $Q_N = 106 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Úsek toku	Staničení	Kóta dna	Hladina	Kóta pravého břehu	Kóta levého břehu
	[km]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
Horní úsek, $Q = 126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	78.702	345.67	348.6	348.58	348.58
	78.694	345.66	348.51	348.58	348.58
	78.674	345.25	348.57	348.62	348.62
	78.652	345.19	348.52	348.54	348.54
	78.64	345.15	348.49	348.5	348.5
	78.624	345.12	348.45	348.49	348.49
	78.6	345.09	348.38	348.46	348.48
	78.582	345.05	348.34	348.4	348.4
	78.558	345	348.27	348.3	348.3
	78.538	344.98	348.17	348.2	348.2
	78.508	344.66	348.18	348.2	348.2
	78.489	344.95	347.91	347.95	347.95
	78.475	344.9	347.86	347.9	347.9
	78.454	344.87	347.73	347.8	347.8
	78.437	344.85	347.57	347.72	347.72
	78.414	344.82	347.45	347.62	347.56
	78.396	344.8	347.14	347.96	347.49
	78.376	344.59	346.86	348	347.09
	78.351	344.32	347.2	347.86	347.21

Úsek toku	Staničení	Kóta dna	Hladina	Kóta pravého břehu	Kóta levého břehu
	[km]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
Střední úsek, $Q = 106 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	78.3464	344.32	347.23	347.86	347.25
	78.3347	344.15	347.09	347.15	347.15
	78.3343	344.65	346.55	346.6	346.6
	78.3333	344.65	346.35	346.6	346.6
	78.3174	342.95	345.98	346.6	346.6
	78.312	342.82	346.03	346.15	346.5
	78.3114	342.82	346.03	346.46	346.12
	78.2984	342.8	345.99	346.93	345.98
	78.28845	342.79	345.98	346.93	345.98
	78.28235	342.79	345.9	346.8	345.9
	78.2764	342.78	345.89	346.8	345.87
	78.2634	342.76	345.86	346.57	345.85
	78.2534	342.75	345.79	346.66	345.78
	78.2324	342.73	345.67	346.01	345.66
	78.2164	342.71	345.67	345.83	345.64
	78.2024	342.61	345.54	345.8	345.84
	78.1884	342.51	345.2	345.66	345.3
	78.186	342.43	345.25	345.66	345.69
	78.1774	342.5	345.17	346.29	346.5
	78.1664	342.48	345.25	345.54	345.93
	78.1574	342.37	345.23	345.3	346.2
	78.1424	342.19	345.13	345.41	345.74
	78.1324	342.13	345.17	345.36	345.88
	78.1184	342.1	345.02	345.08	345.27
	78.1114	342.09	345.02	345.22	345.32
	78.0994	341.94	345	345.27	345.38
	78.0804	341.91	344.88	345.09	345.19
	78.0594	341.9	344.9	344.93	344.9
	78.0464	341.88	344.66	345	344.94
	78.0364	341.87	344.71	344.99	344.7
	78.0254	341.67	344.65	344.97	344.7
	78.0164	341.66	344.59	344.74	344.7
	78.0024	341.65	344.59	344.7	344.65
	77.9904	341.6	344.54	344.7	344.62
	77.9694	341.59	344.53	344.8	344.7
	77.9574	341.63	344.4	344.55	344.55
	77.9364	341.58	343.84	344.36	344.36
	77.9254	341.27	343.67	343.78	343.69
	77.9164	340.77	343.89	343.93	344.05
	77.9064	340.55	343.63	343.81	343.53
	77.8954	340.74	343.5	343.7	343.6

Úsek toku	Staničení	Kóta dna	Hladina	Kóta pravého břehu	Kóta levého břehu
	[km]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]	[m n.m.]
Dolní úsek, $Q = 126 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	77.8864	340.71	343.59	343.85	344.92
	77.8854	340.71	343.52	343.85	345.48
	77.8764	340.69	343.55	344.58	344.24
	77.8754	340.69	343.55	344.58	344.24
	77.8654	340.55	343.45	344.23	344.35
	77.8504	340.4	343.33	344.3	343.81
	77.8424	340.37	343.3	344.18	343.44
	77.8314	340.29	343.28	343.85	343.25
	77.8084	340.2	343.18	343.9	344.02
	77.7954	340.06	343.08	343.34	343.82
	77.7754	340.04	343.04	343.58	343.19
	77.7514	340.01	343	343.99	343.28
	77.7324	339.79	342.98	343.75	343.45
	77.7094	339.69	342.9	343.89	343.09
	77.6834	339.68	342.73	343.88	342.95
	77.6554	339.67	342.53	343.43	342.72



## PŘÍLOHA P.14

### P.14 Fotodokumentace



**Foto 1:** Pohled proti proudu na stávající jez

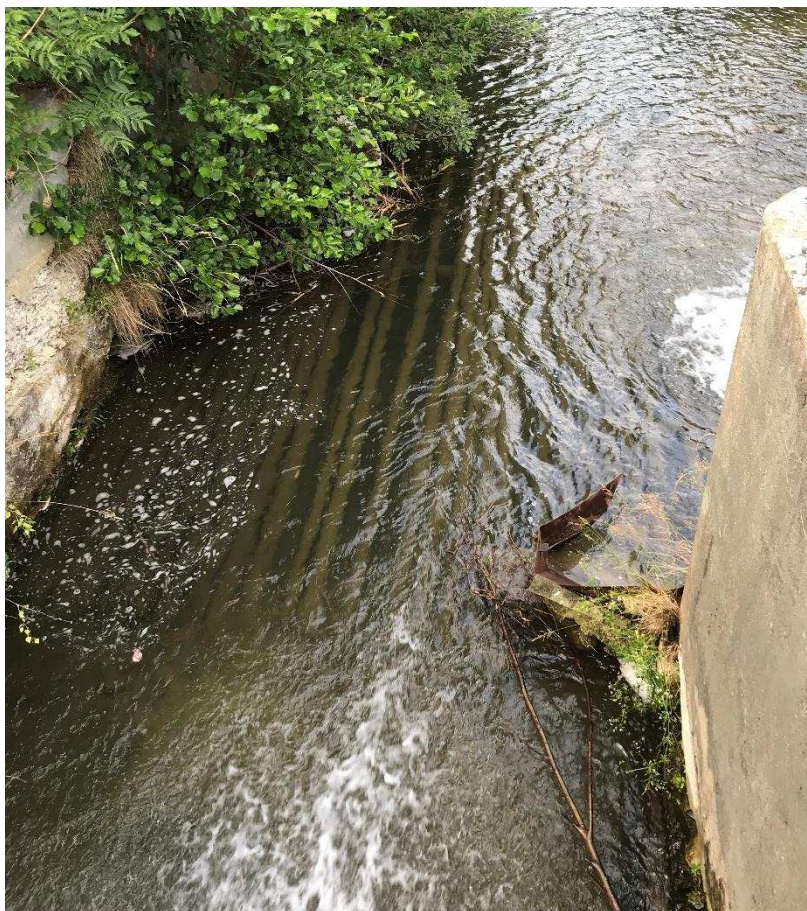


**Foto 2:** Podjezí





**Foto 3:** Splaveninová propust pohled z nadjezí

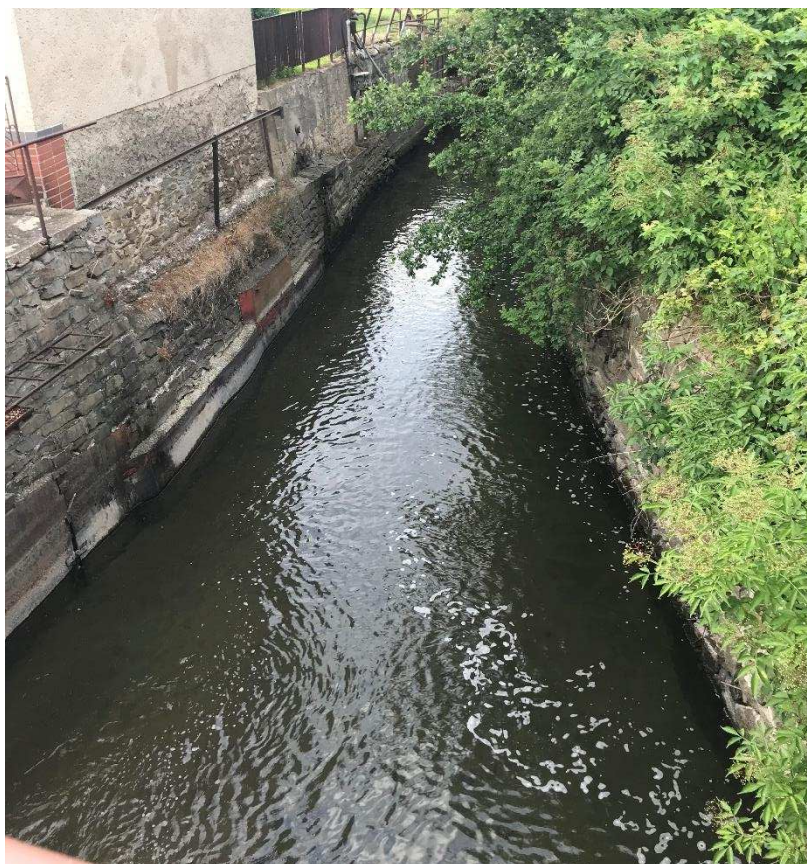


**Foto 4:** Dno pod splaveninovou propustí





**Foto 5:** Náhon na MVE

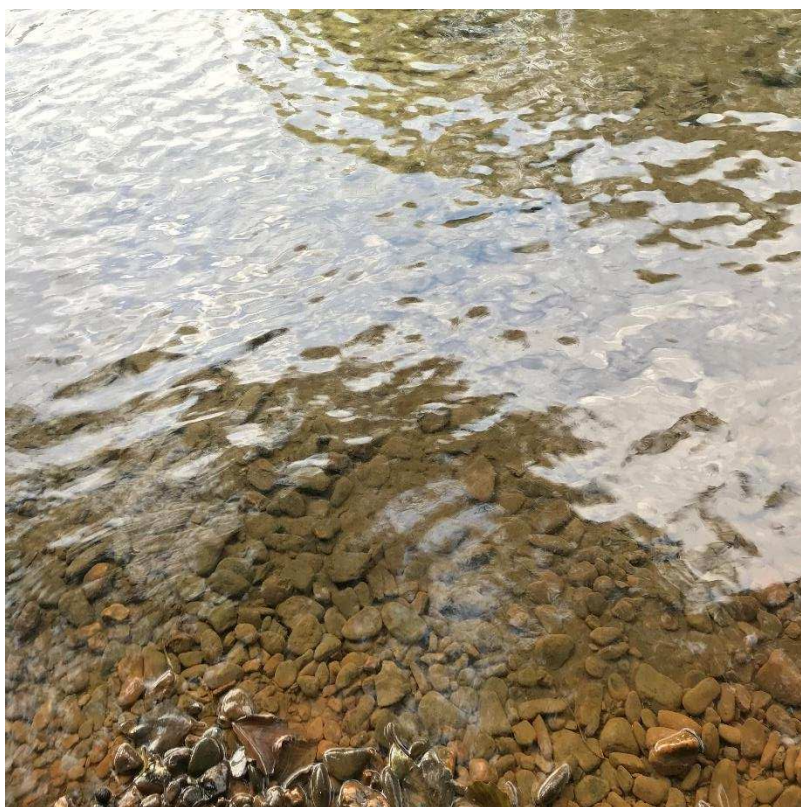


**Foto 6:** Náhon za objektem MVE





**Foto 7:** Vtok do MVE



**Foto 8:** Detail dna toku





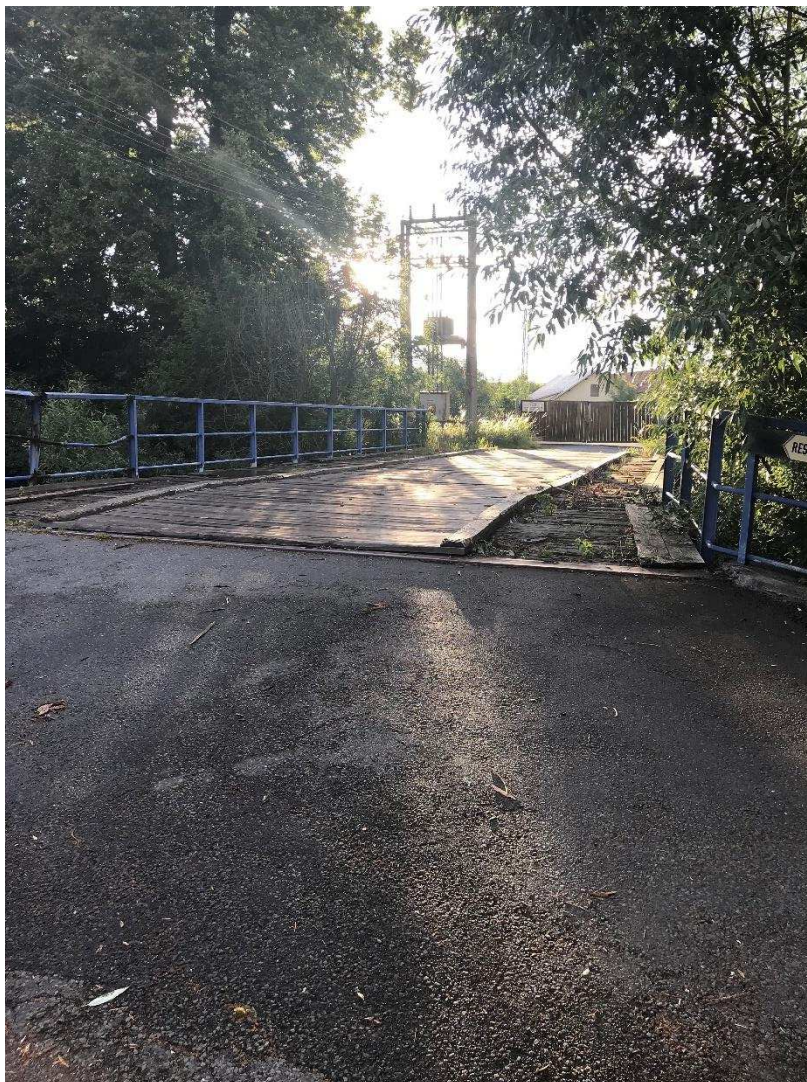
**Foto 9:** Betonové panely v podjezí





**Foto 10:** Detail panelů v podjezí





**Foto 11:** Dřevěný most k pile

## SEZNAM FOTOGRAFIÍ

<b>Foto 1:</b> Pohled proti proudu na stávající jez	1
<b>Foto 2:</b> Podjezí	1
<b>Foto 3:</b> Splaveninová propust pohled z nadjezí	2
<b>Foto 4:</b> Dno pod splaveninovou propustí	2
<b>Foto 5:</b> Náhon na MVE	3
<b>Foto 6:</b> Náhon za objektem MVE	3
<b>Foto 7:</b> Vtok do MVE	4
<b>Foto 8:</b> Detail dna toku	4
<b>Foto 9:</b> Betonové panely v podjezí	5
<b>Foto 10:</b> Detail panelů v podjezí	6
<b>Foto 11:</b> Dřevěný most k pile	7